



TUGAS AKHIR - RE141581

**PENGARUH PENCUCIAN MEMBRAN DAN
PENENTUAN TEGANGAN OPTIMUM PADA
PROSES ELEKTRODIALISIS (ED) DALAM
DESALINASI AIR PAYAU MENJADI AIR TAWAR**

**APRILYA ELSANDARI
NRP 3311 100 008**

**Dosen Pembimbing
ALFAN PURNOMO, ST., MT**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE141581

**EFFECT OF MEMBRANE CLEANSING AND
DETERMINATION OF OPTIMUM VOLTAGE IN
ELECTRODIALYSIS (ED) PROCESS FOR
DESALINATION BRACKISH WATER INTO FRESH
WATER**

**APRILYA ELSANDARI
NRP 3311 100 008**

**Supervisor
ALFAN PURNOMO, ST., MT**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

Pengaruh Pencucian Membran dan Penentuan Tegangan Optimum pada Proses Elektrodialisis (ED) dalam Desalinasi Air Payau Menjadi Air Tawar

TUGAS AKHIR

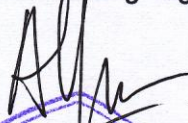
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

APRILYA ELSANDARI

NRP. 3311100008

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Alfian Purnomo, S.T., M.T

NIP. 19830304 200604 1 002



**SURABAYA
JULI, 2015**

PENGARUH PENCUCIAN MEMBRAN DAN PENENTUAN TEGANGAN OPTIMUM PADA PROSES ELEKTRODIALISIS (ED) DALAM DESALINASI AIR PAYAU MENJADI AIR TAWAR

Nama Mahasiswa	: Aprilya Elsandari
NRP	: 3311 100 008
Jurusan	: Teknik Lingkungan FTSP-ITS
Pembimbing	: Alfian Purnomo, ST., MT

ABSTRAK

Teknologi membran yang sedang dikembangkan untuk desalinasi air payau adalah elektrodialisis (ED). Selama proses elektrodialisis terdapat gangguan berupa *scale* pada membran ED yang mempengaruhi hasil penelitian terdahulu. Selain itu, penelitian terdahulu tentang tegangan optimum dalam ED masih belum diketahui untuk desalinasi air payau menjadi air tawar. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian mengenai proses elektrodialisis dalam desalinasi air payau menjadi air tawar yang fokus pada pengaruh pencucian membran dan tegangan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh pencucian membran dan tegangan optimum pada proses elektrodialisis dalam desalinasi air payau menjadi air tawar. Penelitian ini dilakukan menggunakan umpan air payau (TDS 2000 ± 100 mg/L) dalam skala laboratorium. Variasi yang digunakan adalah pencucian membran yaitu pencucian dengan *Chemical Cleaning Agents* (CCA) dan tanpa CCA serta tegangan yaitu 6, 9, dan 12 V. Parameter yang diuji meliputi TDS, salinitas, konsentrasi Cl^- , dan pH. Hasil dari penelitian ini didapatkan pencucian dengan CCA tidak memberikan pengaruh pada kinerja desalinasi bahkan memiliki penurunan removal lebih besar daripada pencucian tanpa CCA pada semua parameter uji dan variasi tegangan. Tegangan optimum untuk elektrodialisis pada penelitian ini didapatkan yaitu 9 V. Tegangan 9 V pada variasi pencucian dengan dan tanpa CCA memiliki efisien desalinasi terbesar yaitu nilai $\text{kWh/m}^3/\%$ removal yang kecil. Variasi pencucian dengan CCA memiliki nilai $\text{kWh/m}^3/\%$ removal sebesar 7,23 sedangkan variasi pencucian tanpa CCA sebesar 4,45. Efisiensi desalinasi yang besar adalah ketika memiliki nilai

kWh/m³/ % removal yang kecil dimana berarti energi minimal yang dikeluarkan digunakan untuk menyisihkan parameter secara efisien.

Kata kunci: desalinasi, elektrodialisis, energi, pencucian membran, tegangan

EFFECT OF MEMBRANE CLEANSING AND DETERMINATION OF OPTIMUM VOLTAGE IN ELECTRODIALYSIS (ED) PROCESS FOR DESALINATION BRACKISH WATER INTO FRESH WATER

Student Name	:	Aprilya Elsandari
NRP	:	3311 100 008
Programme	:	Environmental Engineering FTSP-ITS
Supervisor	:	Alfan Purnomo, S.T., M.T.

ABSTRACT

Membrane technology that is developed for desalination of brackish water is electrodialysis (ED). During electrodialysis process, there are some inhibitors as scale of ED membrane that affects the results of previous studies. Besides, previous studies about optimum voltage of ED still unknown to desalinate brackish water into become fresh water. Based of that problems, this research analyzes about electrodialysis process in desalination of brackish water into become fresh water which focused on effects of membrane cleansing and voltage. Purposes of this study are to analyze the effect of membrane cleansing and optimum voltage of ED process in desalination of brackish water into become fresh water. This study uses brackish water (TDS 2000 ± 100 mg/L) on a laboratory scale. Variations of membrane cleansing which are cleaned with Chemical Cleaning Agents (CCA) and without CCA and variatons of voltage are 6, 9, and 12 V. Parameters in this study are TDS, salinity, Cl^- concentration, and pH. The result of this study was found that membrane cleansing with CCA not only had no effect on performance of desalination but also had greater decrease of removal than cleansing without CCA in all parameters and voltage variations. The optimum voltage for ED in this study was 9 V. Variation with 9 V in membrane cleansing with CCA and without CCA has the greatest efficiency of desalination that the $\text{kWh/m}^3/\%$ removed value was the least. Variation membrane cleansing with CCA has $\text{kWh/m}^3/\%$ removed value 7,23 and variation without CCA has $\text{kWh/m}^3/\%$ removed value 4,45. The greatest efficiency of desalination is the least

kWh/m³/ % removed value that means minimum energy was consumed uses to remove the parameters efficiently.

Keyword: desalination, electrodialysis, energy, membrane cleansing, voltage

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah robil 'alamin, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. Berkat rahmat dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tepat waktu. Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Pencucian Membran dan Penentuan Tegangan Optimum pada Proses Elektrodialisis (ED) dalam Desalinasi Air Payau Menjadi Air Tawar” dibuat dalam rangka menyelesaikan program sarjana. Dalam penulisan laporan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Alfian Purnomo, ST., MT selaku dosen pembimbing tugas akhir yang sudah banyak memberikan arahan dan saran mengenai penyelesaian tugas akhir ini.
2. Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc. Ph.D, Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM, dan Ir. Hariwiko Indarjanto, MT selaku dosen penguji terima kasih atas saran dan arahnya.
3. Ibu, Bapak, dan keluarga yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat dan dukungan kepada penyusun.
4. Bapak Hadi selaku laboran di Laboratorium Pemulihan Air, terima kasih atas saran, tenaga, dan waktu yang diberikan.
5. Chiendy F. R. J dan teman-teman mahasiswa Teknik Lingkungan ITS angkatan 2011, terima kasih banyak atas kerjasama dan segala bantuannya, semangat serta doa untuk penulis.

Penulisan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 2015

Penulis

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Payau	5
2.1.1 Pengertian Air Payau	5
2.1.2 Karakteristik Air Payau	5
2.2 Desalinasi	6
2.3 Air Minum	6
2.3.1 Pengertian Air Minum	6
2.3.2 Karakteristik Air Minum	7
2.4 Teknologi Membran	9
2.5 Elektrodialisis (ED)	10
2.5.1 Proses Elektrodialisis	11
2.5.2 Hambatan pada Proses Elektrodialisis	13
2.5.3 Membran Elektrodialisis	14
2.5.4 Hukum Ohm	19
2.5.5 Kebutuhan Energi Elektrodialisis	20
2.6 Penelitian Terdahulu	21
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian	23
3.2 Tahapan Penelitian	26
3.2.1 Ide Penelitian	26
3.2.2 Rumusan Masalah	27
3.2.3 Studi Literatur	27
3.2.4 Uji Pendahuluan	27
3.2.5 Persiapan Penelitian Inti	28
3.2.6 Pelaksanaan Penelitian	32

3.2.7 Uji Parameter	34
3.2.8 Analisis Data dan Pembahasan	35
3.2.9 Kesimpulan dan Saran	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Penelitian Pendahuluan	37
4.1.1 Karakterisasi Awal Sampel	37
4.1.2 Penentuan Bahan Pencuci dan Lamanya Pencucian Membran	38
4.2 Pengaruh Pencucian Membran pada Kinerja Elektrodialisis	40
4.2.1 Pengaruh Pencucian Membran Menggunakan <i>Chemical Cleaning Agents</i> (CCA)	40
4.2.2 Perbandingan Pengaruh Pencucian Membran dengan dan Tanpa Menggunakan <i>Chemical Cleaning Agents</i> (CCA)	51
4.3 Pengaruh Tegangan Terhadap Kinerja Membran	64
4.4 Analisis Kebutuhan Energi	68
4.5 Penentuan Tegangan Optimum Terhadap Kinerja Elektrodialisis	72
4.6 Analisis Uji Statistik	75
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN A	85
LAMPIRAN B	89
LAMPIRAN C	107
LAMPIRAN D	111
BIOGRAFI PENULIS	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Teknologi Membran Menurut Ukuran Polutan.....	10
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu.....	21
Tabel 3. 1 Variasi Percobaan yang Dilakukan	33
Tabel 3. 2 Metode Uji Paramater.....	35
Tabel 4. 1 Karakterisasi Awal Sampel Keputih	37

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skematik Proses Elektrodialisis (Banasiak, 2010).	12
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	25
Gambar 3. 2 Penyusunan Kompartemen (Mirfada, 2014).....	31
Gambar 3. 3 Reaktor Elektrodialisis 7 Kompartemen (Mirfada, 2014).....	32
Gambar 4. 1 Pengaruh Pencucian Membran dengan CCA Terhadap Parameter <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS).....	43
Gambar 4. 2 Pengaruh Pencucian Membran dengan CCA Terhadap Parameter Salinitas.....	44
Gambar 4. 3 Pengaruh Pencucian Membran dengan CCA Terhadap Parameter Konsentrasi Cl^-	45
Gambar 4. 4 Peningkatan Hambatan (Ω) dalam Sistem Elektrodialisis Variasi Pencucian dengan CCA.....	46
Gambar 4. 5 Pengaruh Pencucian Membran dengan CCA Terhadap Parameter pH Variasi 6 V.....	47
Gambar 4. 6 Pengaruh Pencucian Membran dengan CCA Terhadap Parameter pH Variasi 9 V.....	48
Gambar 4. 7 Pengaruh Pencucian Membran dengan CCA Terhadap Parameter pH Variasi 12 V.....	49
Gambar 4. 8 Skematik Perpindah Ion H^+ dan OH^- pada Kompartemen 2 dan 6 Hasil Oksidasi dan Reduksi H_2O	50
Gambar 4. 9 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA... Terhadap Parameter TDS Variasi 6 V.....	51
Gambar 4. 10 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA. Terhadap Parameter Salinitas Variasi 6 V.....	52
Gambar 4. 11 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA.. Terhadap Parameter Cl^- Variasi 6 V.....	53
Gambar 4. 12 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA. Terhadap Parameter pH Variasi 6 V.....	54
Gambar 4. 13 Hambatan Pada Perlakuan Pencucian dengan CCA dan Tanpa CCA Variasi 6 V.....	55
Gambar 4. 14 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA. Terhadap Parameter TDS Variasi 9 V.....	56
Gambar 4. 15 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA. Terhadap Parameter Salinitas Variasi 9 V.....	57
Gambar 4. 16 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA. Terhadap Parameter Cl^- Variasi 9 V.....	58

Gambar 4. 17 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA Terhadap Parameter pH Variasi 9 V.....	59
Gambar 4. 18 Hambatan pada Perlakuan Pencucian dengan CCA dan Tanpa CCA Variasi 9 V.....	60
Gambar 4. 19 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA Terhadap Parameter TDS Variasi 12 V.....	61
Gambar 4. 20 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA Terhadap Parameter Salinitas Variasi 12 V.....	61
Gambar 4. 21 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA Terhadap Parameter Cl- Variasi 12 V.....	62
Gambar 4. 22 Perbandingan Pencucian dengan dan Tanpa CCA Terhadap Parameter pH Variasi 12 V.....	63
Gambar 4. 23 Hambatan Pada Perlakuan Pencucian dengan CCA dan Tanpa CCA Variasi 12 V.....	63
Gambar 4. 24 Posisi Stainless Steel dan Tembaga (Cu) dalam Deret Volta (Jumiaty dkk., 2013).....	64
Gambar 4. 25 Pengaruh Tegangan Terhadap Kinerja Membran Setelah Pencucian dengan CCA Parameter <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS).....	65
Gambar 4. 26 Pengaruh Tegangan Terhadap Kinerja Membran Setelah Pencucian Tanpa CCA Parameter <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS).....	66
Gambar 4. 27 Pengaruh Tegangan Terhadap Kinerja Membran Setelah Pencucian dengan CCA Parameter pH.....	67
Gambar 4. 28 Pengaruh Tegangan Terhadap Kinerja Membran ... Setelah Pencucian Tanpa CCA Parameter pH.....	68
Gambar 4. 29 Kebutuhan Energi dan Removal TDS Variasi Perlakuan Pencucian Membran dengan CCA dan Tegangan.....	69
Gambar 4. 30 Kebutuhan Energi dan Removal TDS Variasi Perlakuan Pencucian Membran Tanpa CCA dan Tegangan.....	71
Gambar 4. 31 Efisiensi Desalinasi Pencucian Membran dengan CCA dan Tegangan.....	73
Gambar 4. 32 Efisiensi Desalinasi Pencucian Membran Tanpa CCA dan Tegangan.....	74

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pengolahan air banyak digunakan saat ini adalah teknologi membran. Negara yang menggunakan teknologi membran elektrodialisis (ED) terbesar di dunia dengan kapasitas 220000 m³/hari adalah Barcelona (Spanyol) (Devesa *et al.*, 2010). Akan tetapi teknologi membran di Indonesia belum maksimal digunakan dan masih dalam tahap penelitian untuk mengembangkannya. Salah satu penerapan teknologi membran yang banyak diteliti yaitu ED. ED merupakan sebuah teknologi dimana membran-membran pertukaran ion disusun secara bergantian dalam reaktor dengan voltase DC (*direct current*) sebagai tenaga penggerak utama dalam pemisahan bahan tertentu (Zourmand *et al.*, 2015). Anion dan kation dapat berpindah melewati membran ke arah anoda dan katoda. Strathmann (2010) menyebutkan bahwa elektrodialisis digunakan lebih dari 50 tahun oleh industri skala besar untuk memproduksi air siap minum dengan air baku menggunakan air payau.

Penelitian ED sebelumnya menggunakan air baku berupa air payau (TDS 1000-2000 mg/L) dengan elektroda tembaga (katoda) dan *stainless steel* (anoda) dilakukan oleh Mirfada (2014). Hasil penelitian tersebut didapatkan ED variasi tegangan 6 V dan 7 kompartemen menunjukkan kinerja terbaik yaitu removal TDS 92%, salinitas 79%, Cl⁻ 71% dan pH akhir 8 dalam 72 jam (Mirfada, 2014). Penelitian Mirfada (2014) mendapatkan hasil pada variasi tegangan 6 V removal TDS 92%, 9 V removal TDS 51%, dan 12 V removal TDS 91%. Penurunan kinerja pada 9 V terjadi karena penggunaan membran tidak diganti dan tidak dicuci pada setiap perubahan variasi dimana menimbulkan potensi pengganggu berupa *scaling*.

Scaling atau pengerasan adalah salah satu pengganggu pada membran dimana terjadi karena presipitasi garam-garam anorganik yang melapisi membran sehingga dapat mempengaruhi selektifitas membran dalam melewatkan ion-ion. Desalinasi air payau pada penelitian ini membentuk *scalant* utama berupa ion Na⁺ dan Cl⁻ dimana merupakan penyusun

garam anorganik. Pengganggu berupa kerak pada membran tidak hanya meningkatkan hambatan listrik dan kebutuhan energi, akan tetapi juga memperpendek umur pakai membran (Mulyati *et al.*, 2012 dalam Yan *et al.*, 2015). Usaha untuk mengatasi pengganggu (*inhibitor*) tersebut diantaranya dengan melakukan pengolahan awal pada air baku dan pencucian membran. Pencucian membran dapat dilakukan dengan menggunakan metode *flushing* dan penggunaan *Chemical Cleaning Agents* (CCA). Pencucian membran yang dilakukan oleh Banasiak *et al.* (2007) pada penelitian desalinasi dengan ED menggunakan 0,1 N asam, basa, dan aquades. Menurut Tijjing *et al.* (2015) pencucian dengan asam (HCl dan H₂SO₄) efektif dalam menghilangkan kerak anorganik seperti NaCl. Pencucian membran dengan asam (HCl 0,5 M) dalam pemisahan larutan *alumina alkaline* yang mengandung NaOH dan NaAl(OH)₄ dengan elektrodialisis menunjukkan bahwa kinerja membran lebih stabil dalam meremoval OH⁻ yaitu 64,9-68,5% dengan konsumsi energi dapat dikurangi hingga 7,29-7,65 kWh/kg (Yan *et al.*, 2015). Berdasarkan paparan tersebut, dapat diindikasikan terdapat pengaruh dari pencucian membran dalam proses elektrodialisis terhadap kemampuan penyisihan membran dalam desalinasi air payau.

Pengaruh *scaling* pada kinerja membran elektrodialisis dalam penelitian Mirfada (2014) tidak diperhitungkan. Sehingga kesimpulan yang didapatkan berbeda dengan hasil Sigit dkk. (2010). Penelitian sebelumnya yang dilakukan Sigit dkk. (2010) untuk mengetahui pengaruh tegangan pada elektrodialisis larutan uranium nitrat menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan maka semakin besar pula penurunan konsentrasi uranium (U). Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan variasi tegangan 2,5-8 V selama 180 menit terjadi penurunan U tertinggi pada 8 V sebesar 38,09% begitu juga dengan variasi 2,5-5 V penurunan terbesar 36,51% terjadi pada tegangan 5 V. Banasiak *et al.* (2007) juga menyimpulkan bahwa tegangan sebanding dengan kecepatan desalinasi pada proses elektrodialisis. Dilain sisi Anglada *et al.* (2009) menyatakan bahwa tegangan sebanding dengan konsumsi energi dalam sebuah persamaan perhitungan besar konsumsi energi untuk elektrokimia. Oleh karena itu variasi tegangan dalam elektrodialisis (ED) masih perlu

dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan tegangan yang optimum dalam pengolahan air payau dengan mempertimbangkan efisiensi desalinasi yang mempertimbangkan removal parameter dan kebutuhan energinya.

Penelitian yang akan dilakukan pada tugas akhir ini menganalisis tentang pengaruh pencucian membran dan penentuan tegangan optimum pada proses elektrodialisis dalam desalinasi air payau menjadi air tawar. Variasi yang dipilih untuk tegangan yaitu pencucian membran dengan CCA dan tanpa CCA serta tegangan yang digunakan yaitu 6, 9, dan 12 V. Parameter yang diuji pada penelitian ini adalah TDS, salinitas, konsentrasi Cl^- dan pH. Baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pencucian membran terhadap removal TDS, salinitas, dan Cl^- pada desalinasi air payau menjadi air tawar dengan proses elektrodialisis?
2. Bagaimana tegangan yang optimum dalam desalinasi air payau menjadi air tawar dengan proses elektrodialisis?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas didapatkan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh pencucian membran terhadap removal TDS, salinitas, dan Cl^- pada desalinasi air payau menjadi air tawar dengan proses elektrodialisis.
2. Menganalisis tegangan yang optimum dalam desalinasi air payau menjadi air tawar dengan proses elektrodialisis.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup yang digunakan untuk membatasi masalah sehingga penelitian ini lebih fokus dan terarah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan proses ED dalam desalinasi air payau menjadi air tawar.
2. Sampel yang digunakan merupakan sampel buatan (*artificial*) NaCl pro analisis TDS 2000 ± 100 mg/L.
3. Penelitian dilakukan selama 2 bulan yaitu pada bulan April-Mei 2015.
4. Reaktor yang digunakan menggunakan sistem *batch* berjumlah 7 kompartemen dengan elektroda baja tahan karat (*stainless steel*) sebagai anoda dan tembaga sebagai katoda berukuran 5×5 cm² serta membran penukar ion dengan luas efektif 100 cm².
5. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah tegangan yang digunakan (6, 9, dan 12 V) dan pencucian membran (pencucian dengan CCA dan pencucian tanpa CCA).
6. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah TDS, salinitas, konsentrasi Cl⁻, dan pH.
7. Baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai teknologi alternatif dalam desalinasi air payau menjadi air tawar.
2. Mendapatkan informasi tentang pengaruh pencucian membran terhadap kinerja membran elektrodialisis dalam desalinasi air payau menjadi air tawar.
3. Memberikan informasi tentang pengaruh variasi tegangan pada proses elektrodialisis dalam desalinasi air payau menjadi air tawar.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Payau

Sumber air payau yang sering digunakan adalah air tanah yang mengalami intrusi air laut ataupun merupakan akuifer air payau alami. Air tanah secara alami terdiri atas berbagai ion (Banasiak *et al.*, 2007). Menurut Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kota Surabaya (2011) wilayah Kecamatan Sukolilo termasuk dalam zona kedalaman air tanah 0-1 m. Sehingga ada potensi untuk terjadi intrusi air laut pada air tanah di wilayah Sukolilo Surabaya. Menurut kajian Badan Lingkungan Hidup Surabaya intrusi air laut mencapai hampir 40% wilayah Surabaya terutama di wilayah Surabaya Timur dan Utara. Wilayah yang telah diketahui memiliki air tanah asin diantaranya A. R. Hakim, Jl. Jemur Andayani, Mulyosari, dan Keputih. Hal ini diperkuat dengan hasil laboratorium dengan sampel air sumur di Balai RW 7 Kelurahan Keputih Sukolilo, Surabaya didapatkan air tanah tersebut bersifat payau.

2.1.1 Pengertian Air Payau

Air payau merupakan air yang memiliki salinitas lebih rendah dari salinitas rata-rata air laut (<35 ‰) dan lebih tinggi daripada 0,5 ‰. Hal ini terjadi karena pencampuran antara air laut dengan air tawar baik secara alami maupun buatan. Salinitas sendiri adalah tingkat keasinan atau kadar garam yang terlarut dalam air. Air payau dapat memiliki range *total dissolved solid* (TDS) 1000-10000 mg/L (Dewi dkk., 2011).

2.1.2 Karakteristik Air Payau

Air payau memiliki karakteristik yang terdiri dari fisik dan kimia sebagai berikut:

- a. Tidak memiliki warna
- b. Densitas = 1,02
- c. pH 7,8-8,2
- d. Titik beku = -2,78⁰C dan titik didih = 101,1⁰C
- e. Rasanya pahit dan memiliki aroma (tergantung kemurniannya)

- f. Mengandung ion-ion seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-
- g. Kandungan TDS 1000-10000 mg/L
- h. Salinitas 0,5-35 ‰
(Yusuf dkk., 2009; Apriani dan Wesen, 2010; dan Dewi dkk., 2011)

2.2 Desalinasi

Desalinasi merupakan proses pemisahan kandungan garam (*de salt*) dengan produk akhir berupa air tawar. Produk desalinasi memiliki konsentrasi padatan terlarut kurang dari 500 mg/L untuk dapat digunakan bagi domestik, industri, dan pertanian. Desalinasi air laut merupakan proses yang memisahkan air laut yang asin menjadi dua aliran yaitu air segar dengan konsentrasi garam terlarut rendah dan aliran dengan konsentrasi garam tinggi (asin) (Khawaji *et al.*, 2008). Beberapa negara sangat tergantung dengan teknologi desalinasi untuk memenuhi kebutuhan air bersih seperti di Timur Tengah (Saudi Arabia, United Arab Emirates, dan Kuwait). Berbagai teknologi desalinasi telah berkembang selama bertahun-tahun dengan basis panas distilasi, pemisahan membran, pembekuan, elektrodialisis, dan lain sebagainya. Pada tahun 2011 terdapat 15988 instalasi desalinasi di 150 negara dengan produksi total 66,5 juta m^3 air minum setiap hari (WTC San Diego, 2013).

2.3 Air Minum

Air merupakan kebutuhan utama bagi manusia baik untuk keperluan mandi, mencuci, memasak, hingga minum. Akan tetapi jumlah air di bumi semakin menipis seiring dengan peningkatan jumlah manusia yang tidak seimbang dengan penyimpanan air di bumi. Teknologi alternatif sangat dibutuhkan saat ini untuk memenuhi kebutuhan air yang layak konsumsi bagi manusia. Air yang layak menjadi konsumsi manusia harus memiliki persyaratan sebagai air minum yang telah ditetapkan oleh lembaga kesehatan baik Indonesia maupun dunia.

2.3.1 Pengertian Air Minum

Pengertian air minum dalam Permenkes RI No. 492 Tahun 2010 adalah air yang melalui proses pengolahan atau

tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum dikatakan aman untuk dikonsumsi apabila telah memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif yang dimuat dalam parameter Permenkes No. 492 Tahun 2010. Daftar parameter dan nilai baku mutu dapat dilihat pada Lampiran D Peraturan Menteri Kesehatan.

2.3.2 Karakteristik Air Minum

Air minum memiliki karakteristik fisik, kimia, dan biologi yang harus memenuhi kriteria air minum agar aman untuk dikonsumsi. Kriteria air minum terdiri dari beberapa parameter yang harus dipenuhi baik parameter wajib dan parameter tambahan yang telah menjadi baku mutu. Baku mutu yang digunakan di Indonesia adalah Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/Menkes/Per/VI/2010. Berikut adalah parameter dalam karakteristik air minum yang digunakan pada penelitian ini:

A. *Total Dissolved Solid* (TDS)

Total Dissolved Solid (TDS) terdiri atas garam anorganik dan zat organik dalam jumlah kecil yang terlarut dalam air. *Dissolved solid* disusun oleh kation kalsium, sodium dan potasium, serta anion karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, dan dalam tanah terutama nitrat (berasal dari agrikultur) (Health Canada Environmental and Workplace Health, 1991). APHA (1992) menambahkan *dissolved solid* terdiri atas kalsium, klorida, nitrat, fosfor, besi, sulfur, dan ion-ion lain yang dapat melewati sebuah filter dengan diameter pori sekitar 2 μm (0,0002 cm). Konsentrasi TDS dalam air berubah-ubah tergantung pada kelarutan mineral yang berbeda di tiap wilayah. Konsentrasi TDS yang diperbolehkan untuk air minum di Indonesia menurut Permenkes No. 492 Tahun 2010 adalah 500 mg/L. TDS tidak cukup dihilangkan dengan menggunakan pengolahan air konvensional. Proses demineralisasi dibutuhkan untuk meremoval TDS dengan signifikan. *Reverse osmosis* (RO) dan elektrodialisis (ED) merupakan proses paling ekonomis dalam meremoval TDS untuk penyediaan air secara massal. Analisis TDS dilakukan dengan menggunakan instrumen pH ion Lab

tipe EC10 dimana gambarnya alat ini dapat dilihat pada Lampiran C Dokumentasi Penelitian.

B. Salinitas

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air yang memiliki satuan permil ($^0/_{00}$) yaitu jumlah berat total (g) material padat (NaCl) yang terdapat dalam 1000 gram air laut (Wibisono, 2004). Salinitas merupakan bagian dari TDS dimana dipengaruhi oleh curah hujan, pasang surut, presipitasi dan topografi suatu perairan. Salinitas tersusun dari tujuh ion utama yaitu natrium (Na^+), kalium (K^+), kalsium (Ca^{++}), magnesium (Mg^{++}), klorida (Cl^-), sulfat ($\text{SO}_4^{=}$), dan bikarbonat (HCO_3^-) (Yusuf dkk., 2009 dalam Apriani dan Wesen, 2010). Nilai salinitas perairan tawar biasanya kurang dari 0,5 ‰, perairan payau antara 0,5-30 $^0/_{00}$, dan perairan laut 30-40‰ (Effendi, 2003). Salinitas pada air payau merupakan kandungan garam dalam suatu air payau. Banasiak *et al.* (2007) menyatakan bahwa elektrodialisis dapat digunakan dalam desalinasi seperti dalam produksi air minum yang berasal dari air payau. Analisis parameter ini menggunakan pH ion lab tipe EC10 dengan metode salinometri (SK SNI M-03-1989-F, 1898) dimana gambarnya alat ini dapat dilihat pada Lampiran C Dokumentasi Penelitian.

C. Klorida

Klorida terdapat dalam semua air alam dengan konsentrasi yang beragam. Kandungan klorida normalnya meningkat seiring dengan peningkatan kandungan mineral. Pegunungan dan gunung biasanya mengandung klorida sangat rendah, sebaliknya sungai dan air tanah biasanya tinggi. Laut dan samudra menggambarkan hasil sisa evaporasi dari air alam yang mengalir ke laut dan samudra sehingga kadar klorida sangat tinggi. Klorida dalam bentuk ion (Cl^-) merupakan salah satu ion penyusun utama dari salinitas dan dimana menyebabkan air bersifat payau. Klorida dalam bentuk ion (Cl^-) merupakan salah satu anion anorganik utama dalam air bersih dan air limbah (APHA, 2005). Air dengan konsentrasi klorida diatas 250 mg Cl^-/L memiliki rasa

asin. Sehingga nilai tersebut dijadikan baku mutu kandungan klorida pada air minum oleh U.S. EPA dan WHO (Sawyer *et al.*, 2003). Permenkes No. 492 Tahun 2010 memiliki baku mutu klorida adalah 250 mg/L. Penentuan nilai klorida dapat menggunakan metode Argentometri. Prosedur analisis Cl⁻ dapat dilihat pada Lampiran A Prosedur Analisis Laboratorium.

D. Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran pH sangat penting dilakukan dan diuji berulang pada kimia air. pH didefinisikan oleh Sorenson dalam APHA (2005) sebagai $-\log [H^+]$ atau nilai dari derajat keasaman. Skala pH direpresentasikan 0-14 dimana nilai 7 sebagai nilai pH netral. Nilai pH <7 mengindikasikan konsentrasi H^+ lebih besar daripada konsentrasi OH^- yang dinamakan sebagai asam. Kondisi yang berlawanan dengan asam dinamakan basa. pH air merupakan karakteristik penting yang mempengaruhi keseimbangan antara banyak macam fase kimia air, efektifitas koagulan, kemampuan air untuk korosif, dan kesesuaian air untuk mendukung kehidupan mikroorganisme (Sawyer *et al.*, 2003). pH dari air yang diolah dan tegangan yang digunakan mempengaruhi reaksi yang terjadi pada elektroda dalam proses elektrodialisis (Anderson *et al.*, 2010). Analisis pH menggunakan alat berupa pH meter yang terdiri atas potentiometer, elektroda, dan perlengkapan kompensasi suhu.

2.4 Teknologi Membran

Membran diartikan sebagai lapisan tipis yang digunakan untuk memisahkan dua fasa dan berfungsi sebagai penahan selektif terhadap perpindahan suatu bahan. Membran diklasifikasikan menurut tipe pemisahannya karena selektivitas membran tergantung pada sifat komponen yang ada pada fasa tersebut dan tenaga penggerak (*driving force*) yang digunakan. Wenten dan Wiguna (2000) mengemukakan tiga mekanisme pemisahan membran sebagai berikut:

- a. Pemisahan berdasarkan ukuran.
Klasifikasi teknologi membran berdasarkan ukuran polutan yang dihilangkan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Klasifikasi Teknologi Membran Menurut Ukuran Polutan

Proses Membran	Rentang Ukuran Partikel dan Terlarut (μm)
Makrofiltrasi	>10-100
Mikrofiltrasi	0,1-10
Ultrafiltrasi	0,005-0,1
Nanofiltrasi	0,001-0,005
Reverse Osmosis	<0,001
Dialysis	<0,001

Sumber: Sawyer *et al.* (2003)

- b. Pemisahan berdasarkan perbedaan kelarutan dan diffusivitas bahan. Operasi yang sering dilakukan berupa permeasi gas, pervorasi, dan *reverse osmosis*.
- c. Pemisahan berdasarkan perbedaan elektrokimia, dipisahkan dengan elektrodialisis dan *dialysis* Donnan.

2.5 Elektrodialisis (ED)

Elektrodialisis merupakan proses pemisahan ion-ion dari suatu larutan dengan menggunakan arus listrik melalui membran semipermeabel yang bersifat permeabel terhadap ion tertentu (Hapsari, 2007). Begitu juga menurut Valero *et al.* (2011), elektrodialisis (ED) adalah proses pemisahan elektrokimia dimana ion ditransfer melalui membran penukar ion menggunakan tegangan dengan arus satu arah (*direct current*). Proses ini menggunakan tenaga penggerak untuk mentransfer ion-ion tertentu dari air yang diolah melalui katoda (ion bermuatan positif) dan anoda (ion bermuatan negatif) menuju air berkonsentrasi tinggi (*concentrate stream*) dan menciptakan air yang lebih cair atau konsentrasi rendah (*dilute stream*). Salah satu aplikasi paling besar dari elektrodialisis adalah desalinasi dari larutan yang salin (asin) dimana akan menghasilkan air asin berkonsentrasi tinggi dan penyisihan garam di air untuk kebutuhan industri ataupun air siap minum dari air payau (Banasiak, 2010).

Elektrodialisis dapat diaplikasikan secara kontinyu dan catu (*batch*). Proses kontinyu dilakukan dengan mengalirkan air yang diolah melalui sejumlah kompartemen secara seri hingga menghasilkan efluen sesuai kebutuhan. Sementara dalam proses catu (*batch*) campuran (diluut) disirkulasikan melalui sistem elektrodialisis hingga mencapai efluen yang diinginkan atau memenuhi baku mutu (Sigit dkk., 2010). Secara umum elektrodialisis dipertimbangkan sebagai teknologi desalinasi yang layak secara ekonomi dengan salinitas kurang dari 5 g/L (Strathmann, 2010). Strathmann (2010) menambahkan, keuntungan utama dari elektrodialisis dibandingkan dengan teknologi membran lain adalah kebutuhan *pretreatment* yang lebih sedikit untuk air umpan, selektivitas yang tinggi, dan terdapat pilihan *reverse electrodialysis* (RED) untuk kontrol *fouling*.

2.5.1 Proses Elektrodialisis

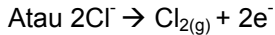
Elektrodialisis menyertakan perpindahan ion-ion dalam medan bertegangan melewati membran polimer anion dan kation. Kation dan anion membran disusun secara bergantian diantara katoda dan anoda. Saat perbedaan tegangan dialirkan pada kedua elektroda, ion-ion positif (kation) tertarik menuju katoda (elektroda negatif). Kation berpindah melalui membran penukar ion positif (*cation exchange membrane*) tetapi tertahan oleh membran penukar ion negatif (*anion exchange membrane*). Sebaliknya, anion berpindah melalui membran penukar ion negatif (*anion exchange membrane*) tetapi tidak mampu melalui membran penukar ion positif (*cation exchange membrane*). Perpindahan ini menghasilkan peningkatan konsentrasi dari ion-ion pada beberapa kompartemen (*brine stream*) dan penurunan konsentrasi (encer) pada kompartemen didekatnya (*dilute stream*) dengan efluen air yang telah dimurnikan. Skematik proses elektrodialisis dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Reaksi yang dapat terjadi pada anoda dan katoda tergantung dari pH air yang diolah dan tegangan yang digunakan. Reaksi yang terjadi di katoda adalah:



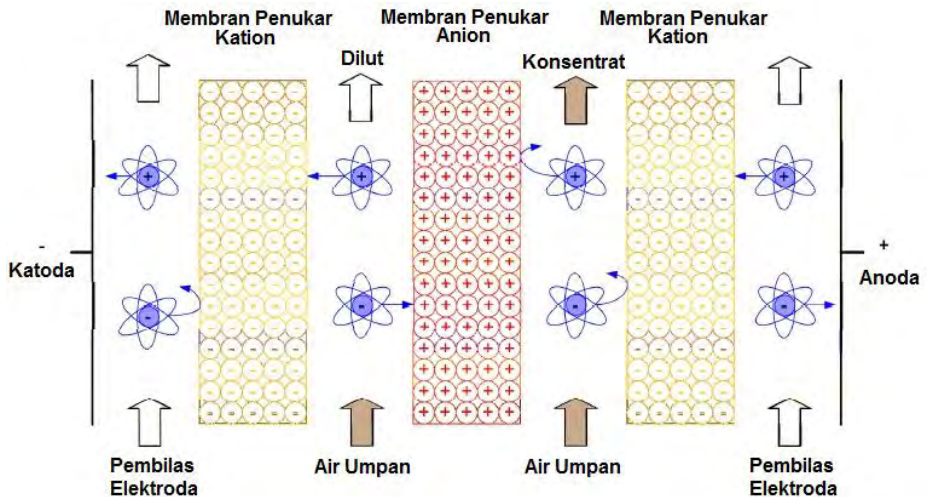
Reaksi pada anoda:





Reaksi 2.3

Dalam proses ini gas hidrogen dapat dihasilkan pada katoda dan gas oksigen atau klorida (tergantung konsentrasi di elektroda dan akhir penyusunan membran penukar ion) di anoda. Jumlah gas berkembang tergantung tegangan yang digunakan. Gas-gas ini bisa dihilangkan sebagai efluen dari masing-masing kompartemen elektroda dan mungkin dikombinasikan untuk menjaga pH bahkan gas hidrogen bisa digunakan untuk aplikasi lain (Anderson *et al.*, 2010).



Gambar 2. 1 Skematik Proses Elektrodialisis (Banasiak, 2010)

Removal ion dalam persen (%) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R_x = \frac{C_x^0 - C_x^T}{C_x^0} \times 100\%$$

Persamaan 2.1

Dimana:

R_x = Removal zat x (%)

C_x^0 = Konsentrasi zat x awal

C_x^T = Konsentrasi zat x pada waktu T

(Banasiak dan Schäfer, 2009)

2.5.2 Hambatan pada Proses Elektrodialisis

Selama operasional ED terdapat hambatan yang mempengaruhi kinerja dari sistem ED dalam penyisihan parameter. Berikut adalah komponen-komponen yang menjadi hambatan dan pengaruhnya pada sistem ED:

a. Larutan air umpan

Casademont *et al.* (2008) menjelaskan bahwa hambatan pada sistem terdiri dari hambatan pada larutan dan membran. Konsentrasi suatu bahan dalam air umpan mempengaruhi hambatan internal pada sistem ED. Sardzadeh *et al.* (2007) menjelaskan bahwa hambatan dalam larutan merupakan fungsi dari konsentrasi. Adanya kandungan bahan tertentu juga mempengaruhi hambatan dalam ED misalnya keberadaan substansi organik menyebabkan peningkatan hambatan karena tertinggal pada membran. Kondisi pH dari larutan umpan juga mempengaruhi hambatan karena dapat memicu *fouling*. Pada pH air umpan rendah memicu terjadinya *fouling* organik sehingga hambatan meningkat (Banasiak, 2010 dan Bukhovets *et al.*, 2010).

b. Membran ED

Hambatan pada membran dapat berupa *fouling* atau *scaling* dan fisik dari membran ED itu sendiri. Mulyati *et al.* (2012) dalam Yan *et al.* (2015) dan Bukhovets *et al.* (2010) menyatakan bahwa *fouling* dapat menaikkan hambatan listrik dan kebutuhan energi. Casademont *et al.* (2008) menyebutkan bahwa sebagian besar hambatan pada sistem ED diberikan oleh *fouling* membran. hambatan akibat *fouling* membran ini terdiri dari polarisasi pada permukaan membran, penyumbatan pada pori membran, dan pembentukan *layer* pada membran. Spesifikasi membran penukar ion untuk elektrodialisis menurut Banasiak (2010) dan Valero *et al.* (2011) salah satunya memiliki hambatan yang kecil. Hambatan internal pada membran ED dipengaruhi oleh derajat *crosslinking* dan densitas muatan tetap (Sigit dkk., 2010)

c. Elektroda

Pada persamaan 2.2 dapat diketahui bahwa ukuran elektroda mempengaruhi besarnya hambatan pada elektroda tersebut.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \text{Persamaan 2.2}$$

Dimana:

R = Hambatan bahan (Ω)

l = Jarak antar bahan (m)

A = Luas penampang bahan (m^2)

ρ = Hambat jenis bahan ($\Omega \cdot m$)

(Mirfada, 2014)

Persamaan 2.2 menunjukkan bahwa semakin besar luasan elektroda yang maka semakin kecil hambatan. Karakteristik elektroda yang baik diantaranya memiliki konduktivitas tinggi dimana semakin tinggi konduktivitas maka nilai hambatan internal yang melawan migrasi ion semakin kecil (Galama *et al.*, 2014). Komposisi bahan dari tiap elektroda juga memiliki hambatan yang berbeda dimana beberapa bahan yang memiliki hambatan yang cukup untuk ED dalam pengolahan air menurut Bruggen (2015) adalah grafit (C), *stainless steel*, campuran Nikel atau sepuhan platinum.

d. Reaktor

Komponen pada reaktor mempengaruhi nilai hambatan pada sistem ED. Pada persamaan 2.2 dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak elektroda (l) maka hambatan akan semakin besar pula. Hal ini didukung dengan pernyataan Jumiati dkk. (2013) dimana semakin dekat jarak elektroda maka hambatan pergerakan elektron menjadi kecil. Selain itu konfigurasi membran yang digunakan dimana semakin banyak pengulangan konfigurasi (membran anion dan membran kation) dapat meningkatkan hambatan internal (Yan *et al.*, 2015).

2.5.3 Membran Elektrodialisis

Sigit dkk. (2010) mengemukakan teknologi elektrodialisis menggunakan membran tukar ion, yaitu membran tukar anion dan kation yang bersifat permeabel berupa lembaran dari resin

tukar ion atau dapat juga mengandung polimer untuk memperbaiki kekuatan mekanik dan fleksibilitas. Dua tipe membran penukar ion dalam Valero *et al.* (2011) yang digunakan pada elektrodialisis adalah:

1. Membran transfer kation merupakan membran yang bekerja dengan listrik dimana hanya mampu melewatkan ion bermuatan positif. Membran kation komersial biasanya terdiri dari ikatan polistirena yang telah disulfonasi menghasilkan golongan $-\text{SO}_3\text{H}$, dalam air golongan ini mengalami ionisasi menghasilkan ion bebas (H^+) dan muatan tetap ($-\text{SO}_3^-$).
2. Membran transfer anion merupakan membran yang bekerja dengan listrik dimana hanya mampu melewatkan ion bermuatan negatif. Biasanya susunan membran ini memiliki muatan positif yang tetap dari golongan *quaternary ammonium* ($-\text{NR}_4^+\text{OH}^-$) yang menolak ion-ion positif.

Secara umum membran elektrodialisis merupakan *permeable* atau selektif terhadap ion tertentu yang berkaitan dengan kemampuannya untuk memilah antara ion-ion yang berbeda. Menurut Strathmann (2004) luas membran sebanding dengan proses penukaran ion sehingga semakin luas membran semakin besar penukaran ion. Kebutuhan luas membran akan berkurang saat rapat arus meningkat dimana kebutuhan energi juga meningkat dalam Strathmann (2002). Widiassa (2003) menjelaskan bahwa perpindahan ion dalam ED difasilitasi oleh jembatan ion dan membran serta beda potensial. Beda potensial ini mempengaruhi kebutuhan energi dimana dapat dikurangi besarnya dengan penggunaan membran yang lebih luas. Hubungan yang bertolak belakang antara biaya investasi (kebutuhan membran) dan *operational maintenance* (OM) dalam hal ini kebutuhan energi dapat diketahui perencanaan yang optimum.

2.5.3.1 Karakteristik Membran Elektrodialisis

Membran elektrodialisis dihasilkan dalam bentuk kertas tersusun atas partikel polimer halus dengan gugusan penukar ion dilubuhkan oleh susunan polimer kedap terhadap air bertekanan, membran ini diperkuat dengan fiber sintetis dimana mampu

meningkatkan kekayaan mekanik dari membran (AWWA, 1995). Membran elektrodialisis berupa jaringan *crosslinking* bertujuan agar tidak mengalami pelarutan dalam larutan ataupun cairan. Pada cabang polistirena dibentuk *crosslinking* dengan menggunakan divinil benzena. Derajat *crosslinking* dan densitas muatan berpengaruh pada karakteristik membran. Apabila *crosslinking* tinggi, maka selektivitas dan stabilitas membran semakin baik dengan mereduksi pembengkakan, akan tetapi menaikkan hambatan listrik. Apabila densitas muatan tinggi, maka hambatan akan turun dan selektivitas meningkat. Akan tetapi hal ini berpengaruh terhadap pembengkakan sehingga memerlukan *crosslinking* yang lebih tinggi. Oleh karena itu diperlukan kesesuaian antara selektivitas, hambatan listrik dan stabilitas yaitu dengan mengatur *crosslinking* dan densitas muatan tetap (Sigit dkk., 2010).

Berikut spesifikasi dari membran elektrodialisis dalam Valero *et al.* (2011):

- a. Hambatan listrik rendah
- b. Tidak larut dalam larutan
- c. Semi-kaku untuk kemudahan perlakuan selama pemasangan *stack*
- d. Tahan terhadap perubahan pH rentang 1-10
- e. Suhu pengoperasian mencapai 46⁰C
- f. Tahan terhadap pembengkakan osmosis
- g. Memiliki umur pakai panjang
- h. Tahan terhadap *fouling* dan dapat dibersihkan dengan tangan

2.5.3.2 Pengganggu (*Inhibitor*) pada Membran Elektrodialisis

Kinerja dari membran penukar ion pada elektrodialisis dapat terhambat oleh pengganggu membran. Pengganggu membran secara tipikal adalah *fouling*, *scaling*, dan *poisoning*. *Fouling* pada membran penukar ion dapat didefinisikan sebagai akumulasi partikulat, *trace organic compound* (TOC), dan *organic matter* (OM) yang menempel pada permukaan membran dengan atau tanpa melalui hidrolisis, tenaga fisik atau elektrik lainnya (Grebenyuk *et al.*, 1998 dan Lindstrand *et al.*, 2000 dalam Banasiak, 2010). Sedangkan *scaling* pada membran merupakan

proses kompleks yang melibatkan kristalisasi dan mekanisme transport hidrodinamika dimana terjadi presipitasi dari garam anorganik terlarut pada CEM dan pengurangan luas pada AEM (Korngold *et al.*, 1970). Tijing *et al.* (2015) menambahkan *fouling* anorganik sering disebut sebagai *scaling* yang merupakan sisa dari presipitat mineral dari larutan umpan yang mengalami kristalisasi. Garam-garam yang menyebabkan terbentuknya kerak (*scale*) berada dimana-mana di lingkungan. Presipitasi dari bahan tersuspensi, silikat, dan garam-garam dengan kelarutan rendah seperti kalsium sulfat (CaSO_4), kalsium karbonat (CaCO_3), atau besi hidroksida (FeOH) dapat terjadi dalam aliran yang sebenarnya merupakan hasil dari kehilangan tekanan hidrodinamik yang tinggi dan distribusi aliran yang tidak seragam dalam *stack* (Strathmann, 2004). Meskipun penurunan kontaminan dengan proses membran memiliki keuntungan dibandingkan dengan pengolahan konvensional akan tetapi *scaling* (pengerakan) pada membran akibat anorganik kompleks merupakan masalah dalam teknologi membran pada pengolahan air dan air limbah.

Kimiawi larutan seperti pH larutan dan konsentrasi anorganik maupun operasional ED seperti debit dan terjadinya polarisasi terlibat dalam proses pembentukan kerak. Presipitasi pada membran ditentukan oleh kelarutan *scalant*, dimana dipengaruhi oleh pH larutan. *Scaling* menyebabkan presipitat basa di kompartemen *brine* dan menghasilkan asam di kompartemen *dilute*. Kedua perubahan pH menyebabkan presipitasi. Asam yang dihasilkan pada membran *anionic* kompartemen *dilute* membuat koloid *anionic* mengalami presipitasi sebagai asam tidak larut dan menimbulkan *fouling* secara otomatis. Peningkatan jumlah OH^- pada kompartemen *brine* yang melewati membran *anionic* berkontribusi dalam presipitasi beberapa ion logam karena kondisi basa. Metode untuk mencegah pengerakan dengan penyesuaian pada pH larutan umpan dan pembersihan membran secara fisik, mekanik, dan kimia. Menurut Siswanto dan Aufa (2010) *fouling* terjadi akibat salah satu atau lebih dari 3 mekanisme berikut:

1. Akumulasi dari perubahan pada lapisan polarisasi baik secara langsung maupun bertahap (seperti pembentukan lapisan *cake*).

2. Adsorpsi di permukaan membran oleh zat terlarut.
3. Adsorpsi dalam membran oleh zat terlarut.

2.5.3.3 Pengaruh Pengganggu (*Inhibitor*) pada Membran Elektrodialisis

Banasiak dan Schäfer (2009) mengemukakan bahwa *fouling* dapat menyebabkan kemunduran membran dan penurunan dari kinerja elektrodialisis. Membran yang mengalami penyumbatan dikenali dengan penurunan selektifitas membran, peningkatan pada penurunan tegangan selama proses elektrodialisis, dan penurunan pada konduktivitas dari membran tersebut. Penyumbatan juga meningkatkan kebutuhan energi, menyebabkan mesin mati, butuh dilakukan pembersihan, dibutuhkan pergantian membran, dan menyebabkan kontaminasi pada produk (Warsinger *et al.*, 2015). Pernyataan ini diperkuat oleh Mulyati *et al.* (2012) dalam Yan *et al.* (2015) dan Bukhovets *et al.* (2010) yang mengatakan bahwa *fouling* tidak hanya menaikkan hambatan listrik dan konsumsi energi, tetapi juga membahayakan fisik membran sehingga memperpendek umur pakai membran. Penelitian yang dilakukan Banasiak (2010) juga menyatakan peningkatan deposit berupa kerak (*scale*) anorganik pada membran mengurangi *flux* melalui membran dan menurunkan penyisihan.

2.5.3.4 Metode Pembersihan Pengganggu (*Inhibitor*) pada Membran Elektrodialisis

Metode dalam menghilangkan pengganggu pada membran diantaranya adalah *pretreatment* pada air umpan dan melakukan pembersihan membran. Menurut Banasiak (2010) pembersihan membran dapat digolongkan menjadi hidrolis, mekanik, dan bahan kimia. Pembersihan dengan bahan kimia membutuhkan bahan kimia yang meningkatkan biaya *operational and maintenance* (OM) dari proses elektrodialisis. Salah satu pembersihan yang dilakukan adalah dengan penyiraman menggunakan aquades setiap 20 jam pada membran distilasi seperti yang ada dalam Tijjing *et al.* (2015). Perlakuan lain yang dapat dilakukan untuk mengontrol *fouling* adalah dengan menggunakan *chemical cleaning agents* (CCA) diantaranya berupa asam, basa, surfaktan, enzim, dan oksidator (Tijjing *et al.*,

2015). Menurut Tijing *et al.* (2015) pencucian dengan asam efektif dalam menghilangkan kerak (*scale*) anorganik seperti NaCl. Tijing *et al.* (2015) juga menyebutkan diantara uji agen pencuci di laboratorium larutan 0,1 wt% *oxalic acid* + 0,8 wt% *citric acid* menunjukkan kinerja pencucian terbaik untuk kerak (*scale*) yang utamanya tersusun dari NaCl, Fe, Mg, dan AlO_3 .

Sedangkan Banasiak *et al.* (2007) melakukan pembersihan pada *stack* dengan *flushing* menggunakan larutan 0,1 N basa dan asam, dan *Milli-Q water* (aquades) pada proses desalinasi menggunakan elektrodialisis dengan air umpan larutan NaCl dan air tanah dengan kontaminasi anorganik dan TDS 5000 mg/L. Pembersihan sel pada penelitian lain yang dilakukan Banasiak dan Schäfer (2009) menggunakan 0,1 mol/L HCl; 0,1 mol/L NaOH; dan *ultrapure water* yang diresirkulasikan melalui sel elektrodialisis selama 20 menit masing-masing larutan untuk menghilangkan sisa atau deposit dalam penghilangan boron, fluoride, dan nitrat dengan keberadaan organik. Kedua penelitian tersebut memiliki kesamaan yaitu menggunakan membran penukar ion (*ion exchange membrane*).

Penelitian Yan *et al.* (2015) melakukan pembersihan *fouling* dengan melewati larutan 0,5 mg/L HCl selama 15 menit pada reaktor elektrodialisis dalam pemisahan larutan *alumina alkaline* yang mengandung NaOH dan $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ dengan elektrodialisis. Hasil dari pencucian membran ini seleksi membran lebih stabil atau tidak menurun dengan drastis dan dapat menghemat energi hingga 7,29-7,65 kWh/kg. Begitu juga yang dilakukan oleh Adhikary *et al.* (1991) dalam menghindari kerak (*scale*) karena kesadahan air payau yang tinggi dengan menggunakan HCl 1 N sekali dalam seminggu untuk desalinasi air payau dengan kadar salinitas tinggi menggunakan elektrodialisis. Sementara penelitian yang dilakukan oleh Yamamura *et al.* (2014) dalam penentuan larutan kimia yang efektif untuk membersihkan membran ultrafiltrasi menggunakan teknik pencucian dengan merendam membran selama 24 jam dalam suhu 20°C .

2.5.4 Hukum Ohm

Penelitian yang dilakukan Banasiak dan Schäfer (2009) menghitung hambatan dalam sistem elektrodialisis dengan

menggunakan hukum Ohm dari tegangan dan arus yang terbaca oleh alat. Hambatan ini dapat digunakan untuk mengetahui adanya *fouling* dimana *fouling* sendiri dapat meningkatkan hambatan listrik (Mulyati *et al.*, 2012 dalam Yan *et al.*, 2015). Hukum Ohm menyatakan bahwa besar arus listrik yang mengalir melalui suatu penghantar berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan. Hubungan ketiga komponen diatas dapat dilihat pada Persamaan 2.3 berikut:

$$V = I \times R \quad \text{Persamaan 2.3}$$

Dimana:

V = Tegangan pada kedua ujung penghantar (V)

I = Kuat arus listrik yang mengalir (A)

R = Hambatan atau resisten (ohm)

(Banasiak dan Schäfer, 2009)

2.5.5 Kebutuhan Energi Elektrodialisis

Efisiensi desalinasi pada elektrodialisis dilihat dari nilai penyisihan garam dan kebutuhan energi untuk mencapai kinerja tersebut (Banasiak *et al.*, 2007). Kelayakan suatu proses secara ekonomis dapat dilihat dari kebutuhan energi yang dipengaruhi oleh arus listrik. Arus listrik yang digunakan untuk memindahkan ion-ion menentukan efisiensi dari ED (Bruggen, 2015). Kebutuhan energi dalam elektrokimia dapat direpresentasikan sebagai fungsi waktu dan muatan listrik. Muatan listrik spesifik (Q) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = \frac{I \cdot A \cdot t}{v} \quad \text{Persamaan 2.4}$$

Dimana kerapatan arus (J) merupakan kuat arus listrik yang mengalir tiap luasan area elektroda.

$$J = \frac{I}{A} \quad \text{Persamaan 2.5}$$

Sehingga muatan listrik spesifik (Q) dapat dicari dengan persamaan:

$$Q = \frac{I \cdot t}{v} \quad \text{Persamaan 2.6}$$

Kemudian dapat diketahui konsumsi energi spesifik (W) dalam kWh/m³ adalah sebagai berikut:

$$W \text{ (kWh/m}^3\text{)} = Q \cdot V \quad \text{Persamaan 2.7}$$

Dimana:

W = Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m³)

Q = Muatan Listrik Spesifik(kAh/ m³)
 V = Tegangan (V)
 I = Kuat Arus Listrik (A)
 t = Waktu (s)
 v = Volume Elektrolit (Lt)
 J = Densitas Arus atau Kerapatan Arus (A/m²)
 A = Luas Elektroda (m²)
 (Anglada *et al.*, 2009)

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang *scaling* pada membran ED dan pengaruh tegangan dalam proses ED yang telah dilakukan dapat dirangkum dalam Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No.	Nama	Tahun	Kajian
1	Mirfada	2014	Elektrodialisis (ED) dengan tegangan 6 V dan 7 kompartemen menunjukkan kinerja terbaik yaitu removal TDS 92%, salinitas 79%, Cl ⁻ 71% dan pH akhir 8 dalam 72 jam dengan konsumsi energi 139,68 kWh/m ³ .
2	Sigit dkk.	2010	Penelitian ini menyatakan tegangan sebanding dengan penurunan uranium pada larutan uranium nitrat dengan elektrodialisis. Hasil dari penelitian ini menunjukkan dalam variasi tegangan 2,5-8 V selama 180 menit terjadi penurunan U tertinggi pada 8 V sebesar 38,09% dan dalam variasi 2,5-5 V penurunan terbesar 36,51% terjadi pada tegangan 5 V.
3	Banasiak <i>et al.</i>	2007	Tegangan sebanding dengan kecepatan desalinasi dimana konsentrasi air umpan NaCl 5000 mg/L untuk mencapai 500 mg/L memerlukan waktu 70 menit dengan tegangan 9 V, 50 menit dengan 12 V, dan

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No.	Nama	Tahun	Kajian
			27 menit dengan 18 V. Pembersihan pada <i>stack</i> dilakukan dengan <i>flushing</i> menggunakan larutan 0,1 N basa dan asam, dan <i>Milli-Q water</i> (aquades).
4	Banasiak dan Schäfer	2009	Pembersihan sel dalam proses removal boron, fluorida, dan nitrat dengan elektrodialisis menggunakan 0,1 mol/L HCl; 0,1 mol/L NaOH; dan <i>ultrapure water</i> yang didesirkulasikan melalui sel elektrodialisis selama 20 menit masing-masing larutan untuk menghilangkan sisa atau deposit dalam penghilangan boron, fluoride, dan nitrat dengan keberadaan organik.
5	Yan <i>et al.</i>	2015	Pencucian membran dengan asam (HCl 0,5 M selama 15 menit) dalam pemisahan larutan <i>alumina alkaline</i> yang mengandung NaOH dan $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ dengan elektrodialisis menunjukkan bahwa kinerja membran lebih stabil dalam <i>recovery</i> OH^- yaitu 64,9-68,5% dengan konsumsi energi dapat dikurangi hingga 7,29-7,65 kWh/kg.
6	Adhikary <i>et al.</i>	1991	Dalam penelitian desalinasi air payau bersalinitas tinggi dengan elektrodialisis menggunakan HCl 1 N setiap satu minggu sekali untuk menghindari kerak (<i>scale</i>) karena kesadahan yang tinggi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian

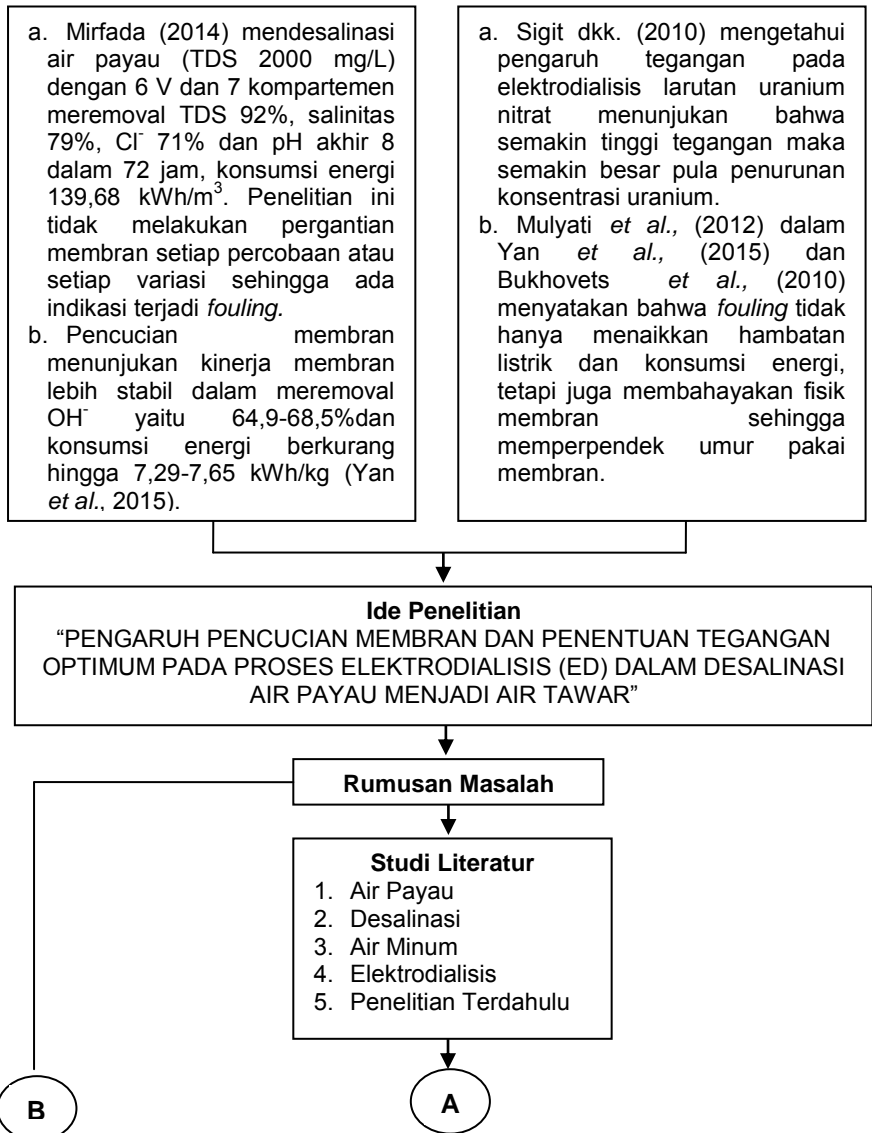
Penelitian ini membahas tentang pengaruh pencucian membran dan penentuan tegangan optimum pada proses elektrodialisis dalam mengolah air payau menjadi air minum. Air sampel yang digunakan rencananya berasal dari air sumur yang bersifat payau di wilayah Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo, Surabaya dengan konsentrasi TDS 2000 ± 100 mg/L. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dalam skala laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Pemulihan Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP- ITS. Variabel yang digunakan adalah pencucian membran dan tegangan yang digunakan. Variasi tegangan yang digunakan yaitu 6, 9, dan 12 V sedangkan variasi pencucian membran yaitu pencucian dengan CCA dan tanpa CCA. Parameter uji pada penelitian ini adalah *Total Dissolved Solid* (TDS), salinitas, konsentrasi Cl^- , dan pH.

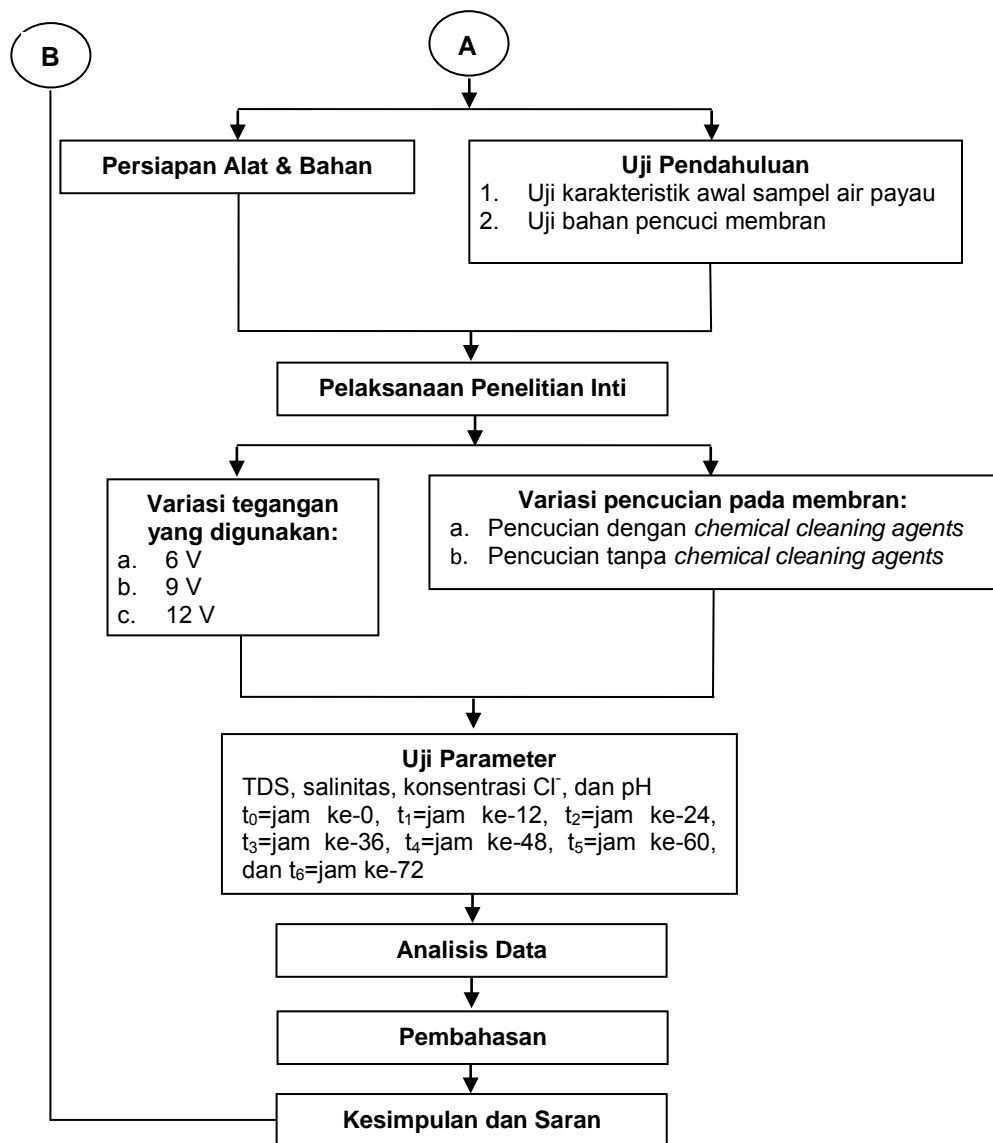
Kerangka penelitian merupakan gambaran umum tentang tahapan pelaksanaan penelitian secara detail sehingga penelitian dapat terarah untuk dapat menjawab rumusan masalah yang diharapkan. Tujuan dibuat kerangka penelitian ini adalah:

1. Sebagai acuan tahapan pelaksanaan penelitian secara sistematis sehingga dalam pelaksanaan dan penulisan laporan penelitian dapat terarah.
2. Memberikan informasi yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian untuk memudahkan pelaksanaan dan pencapaian tujuan dari suatu penelitian.
3. Mengantisipasi terjadinya kesalahan yang mungkin terjadi.

Kebaruan dari penelitian ini adalah alternatif baru dalam pengolahan air payau menjadi air minum dengan menggunakan proses elektrodialisis. Selain itu penelitian yang terdahulu belum menyelesaikan permasalahan tentang pengaruh pencucian membran terhadap kinerja membran dan tegangan yang optimum pada proses elektrodialisis dalam desalinasi air payau menjadi air tawar. Sehingga penelitian ini memerlukan kerangka penelitian untuk dapat menentukan hubungan tegangan yang digunakan

dan pencucian membran terhadap parameter uji dan kebutuhan energi dalam desalinasi air payau menjadi air tawar dengan proses elektrodialisis. Kerangka penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi ide penelitian, perumusan masalah, studi literatur, penentuan variabel dan parameter penelitian, uji pendahuluan, analisis data, pembahasan, dan penarikan kesimpulan. Penyusunan tahapan penelitian yang sistematis dapat membantu pelaksanaan penelitian sehingga dapat mencapai tujuan penelitian. Pada masing-masing tahapan penelitian memiliki tujuan berbeda karena fokus dari tahapan tersebut juga berbeda.

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini muncul dari hasil penelitian terdahulu yang meneliti tentang pengaruh tegangan pada proses elektrodialisis dalam pengolahan air payau menjadi air minum. Menurut penelitian Mirfada (2014) dari variasi tegangan 6, 9, dan 12 V hasil yang paling efektif adalah 6 V yaitu mampu meremoval TDS 92%, salinitas 79%, Cl^- 71% dan pH akhir 8 dalam 72 jam. Hasil ini tidak didukung oleh Sigit dkk. (2010) yang menyatakan bahwa semakin tinggi tegangan maka semakin besar pula penurunan konsentrasi uranium dalam proses elektrodialisis larutan uranium nitrat. Penelitian yang dilakukan Mirfada (2014) tidak memperhatikan adanya pengganggu pada membran terutama kerak (*scale*) yang mampu menurunkan kinerja membran dalam menyeleksi ion-ion. Sehingga belum dapat ditentukan tegangan yang optimum dalam pengolahan air payau dengan elektrodialisis dilihat dari kemampuan removal dan konsumsi energi.

Selain itu penelitian yang dilakukan Mirfada (2014) juga belum mengetahui pengaruh *scaling* pada permukaan membran. Banasiak dan Schäfer (2009) mengemukakan bahwa pengganggu (*inhibitor*) pada membran dapat menyebabkan kemunduran membran dan penurunan dari kinerja elektrodialisis. Menurut Yan *et al.* (2015) pencucian membran dengan menggunakan asam (0,5 mg/L HCl) membuat kinerja membran lebih stabil dalam memulihkan OH^- dan konsumsi energi lebih rendah pada pemisahan larutan *alumina alkaline* dengan elektrodialisis. Berdasarkan pemaparan tersebut dapat dirumuskan sebuah ide penelitian yang berjudul “Pengaruh Pencucian Membran dan Penentuan Tegangan Optimum pada

Proses Elektrodialisis (ED) dalam Desalinasi Air Payau Menjadi Air Tawar”.

3.2.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah merupakan permasalahan yang dapat dijawab dari hasil penelitian ini. Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh pencucian membran terhadap removal TDS, salinitas, dan Cl^- dan penentuan tegangan yang optimum dalam desalinasi air payau dengan elektrodialisis pada desalinasi air payau dengan proses elektrodialisis.

3.2.3 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap pencarian bahan penunjang ide penelitian untuk menambah informasi dan mendukung hasil analisis penelitian dan pembahasan. Bahan penunjang dapat berupa buku pegangan (*hand book*), jurnal penelitian, dan sebagainya. Literatur yang digunakan pada penelitian ini mengenai air payau, desalinasi, proses elektrodialisis, membran elektrodialisis, pengganggu (*inhibitor*) pada membran dan metode pencucian membran elektrodialisis.

3.2.4 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan sebelum melakukan penelitian inti. Penelitian ini dilakukan uji pendahuluan karakterisasi pada air sampel dan uji penentuan bahan serta lamanya pencucian membran.

3.2.4.1 Karakterisasi Awal Sampel

Sampel yang diambil dari wilayah Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo, Surabaya. Parameter yang diuji adalah TDS, salinitas, konsentrasi Cl^- , dan pH. Sampel air baku yang digunakan adalah tipe *grab sample*. Sampel *grab* adalah sampel tunggal yang diambil dalam satu titik spesifik dalam periode waktu singkat (dalam detik atau menit). Uji parameter dilaksanakan di Laboratorium Pemulihan Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Sampel keputih dapat dilihat pada Lampiran C Dokumentasi Penelitian.

Parameter TDS dan salinitas diuji dengan menggunakan pH ion Lab dengan cara mencelupkan alat kedalam air sampel.

Analisis konsentrasi Cl^- dengan menggunakan metode Argentometrik Mohr. Metode ini menggunakan proses titrasi dengan larutan perak nitrat yang mengakibatkan ion klorida mengalami presipitasi sebagai endapan perak nitrat (Sawyer *et al.*, 2003). Sedangkan parameter pH diukur dengan pH meter. pH meter digunakan dengan cara mencelupkan alat kedalam air sampel. Prosedur detail analisis parameter diatas dapat dilihat pada Lampiran A Prosedur Analisis Laboratorium. Output dari uji pendahuluan adalah mendapatkan karakteristik sampel yang akan digunakan untuk parameter uji diatas. Sehingga dapat dipilih perlakuan yang sesuai untuk mendapatkan sampel dengan $\text{TDS } 2000 \pm 100 \text{ mL}$.

3.2.4.2 Penentuan Bahan Pencuci dan Lamanya Pencucian Membran

Pencucian membran penukar ion menggunakan *chemical cleaning agents* (CCA) yaitu menggunakan H_2SO_4 0,1 N dan NaOH 0,1 N. Tijing *et al.* (2015) menyebutkan bahwa bahan kimia pencuci membran berupa asam untuk menghilangkan kerak (*scaling*) berupa anorganik sedangkan bahan kimia basa untuk menghilangkan kerak organik. Banasiak (2010) dan Bukhovets *et al.* (2010) juga menjelaskan bahwa membran anion dan kation memiliki sensitifitas terhadap *fouling* atau *scaling* yang berbeda. *Anion exchange membrane* lebih sensitif terhadap organik daripada *cation exchange membrane*. Sehingga perlu dilakukan uji penentuan bahan pencuci dan penentuan lamanya perendaman membran. Uji penentuan jenis bahan pencuci dilakukan dengan merendam *anion exchange membrane* dalam NaOH 0,1 N sedangkan *cation exchange membrane* dalam H_2SO_4 0,1 N. Kemudian dilakukan pengamatan setiap jamnya dengan pengamatan mata dan parameter secara fisik presipitat telah hilang untuk menentukan lamanya perendaman membran.

3.2.5 Persiapan Penelitian Inti

Persiapan penelitian yang dilakukan meliputi persiapan alat dan bahan. Berikut merupakan persiapan alat yang dilakukan:

a. Reaktor

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini berbentuk balok terdiri dari 7 kompartemen yang terbuat dari bahan akrilik. Masing-masing kompartemen memiliki dimensi luar $24 \times 9 \times 2 \text{ cm}^3$ dan dimensi dalam $20 \times 5 \times 2 \text{ cm}^3$. Reaktor dengan 7 kompartemen terdiri atas 2 kompartemen elektroda (katoda dan anoda), 2 kompartemen *feed tank* (2 inlet) sebagai penyimpanan air umpan (air yang diolah), 2 kompartemen ion Na^+ atau Cl^- , dan 1 kompartemen air asin (NaCl). Terdapat pengapit paling luar kompartemen untuk mencegah kebocoran selama proses pengolahan (*running*). Reaktor didesain tertutup agar tidak terdapat kontaminan.

b. Elektroda

Elektroda yang digunakan terdiri dari anoda dan katoda. Anoda menggunakan bahan *stainless steel* sedangkan katoda menggunakan tembaga berdasarkan penelitian terdahulu oleh Mirfada (2014). Elektroda ini berbentuk persegi berdimensi $5 \times 5 \text{ cm}^2$.

c. Membran

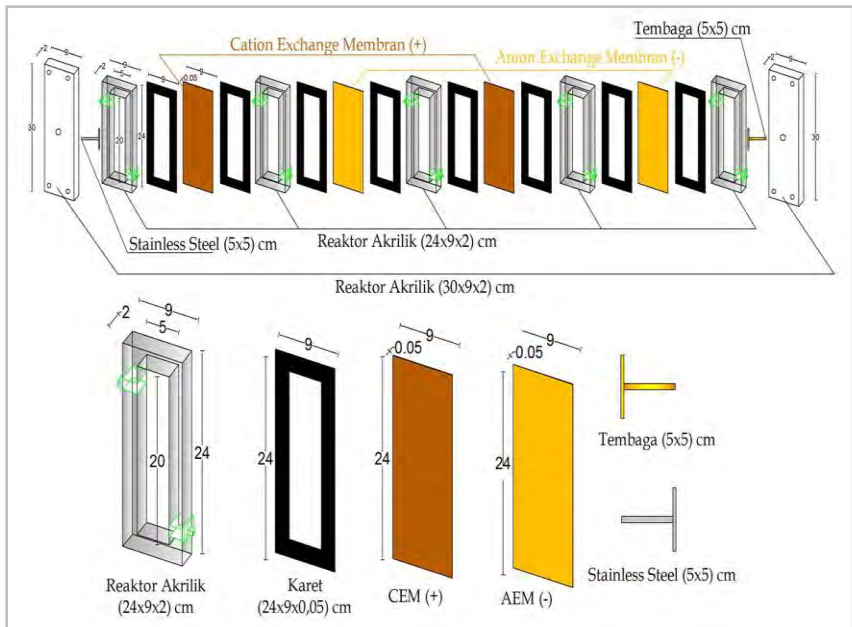
Membran yang digunakan terdiri atas *anion exchange membrane* (AEM) dan *cation exchange membrane* (CEM). Membran yang digunakan produksi USA dengan tipe AMI-7001S *anion exchange membranes* dan CMI-7000 *cation exchange membranes*. Spesifikasi teknis dari AMI-7001S diantaranya memiliki ketebalan $0,45 \pm 0,025 \text{ mm}$, *total exchange capacity* $1,3 \pm 0,1 \text{ meq/g}$ dan berwarna kuning. Sedangkan CMI-7000 memiliki ketebalan $0,45 \pm 0,025 \text{ mm}$, *total exchange capacity* $1,6 \pm 0,1 \text{ meq/g}$ dan berwarna coklat. Sebelum digunakan membran harus diberi perlakuan khusus sebagai *preconditioning* untuk menyiapkan hidrasi dan ekspansi membran. *Preconditioning* dilakukan dengan cara merendam membran dalam larutan NaCl 5% selama 24 jam pada suhu 40°C (Membranes International Inc). *Preconditioning* dilakukan dalam *waterbath* yang dapat dilihat pada Lampiran C Dokumentasi Penelitian.

- d. **Adaptor**
Adaptor merupakan sumber aliran listrik yang digunakan pada proses elektrodialisis. Adaptor yang digunakan adalah adaptor *direct current* (DC) berkapasitas 2A. Adaptor yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran C Dokumentasi Penelitian.
- e. **Multimeter**
Multimeter berfungsi sebagai alat ukur arus yang dialirkan selama proses elektrodialisis. Pada penelitian ini variasi tegangan yang digunakan 6, 9, dan 12 V. Multimeter yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran C Dokumentasi Penelitian.
- f. **Pompa**
Pompa berfungsi untuk memompa air umpan ke dalam reaktor dan meresirkulasikan air umpan selama proses elektrodialisis. Pompa yang digunakan adalah pompa *submersible* dengan spesifikasi pompa utama air umpan 200 L/jam sedangkan pompa resirkulasi 200-300 L/jam.
- g. **Bak**
Bak digunakan sebanyak 6 buah yaitu 1 bak penyimpanan air umpan (*feed tank*), 2 tempat penampung *buffer* dan 3 bak tempat aquades untuk resirkulasi.
- h. **Selang**
Selang digunakan untuk mengalirkan air umpan ke dalam reaktor dan resirkulasi. Selang yang digunakan terbuat dari bahan plastik yang mudah didapatkan.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

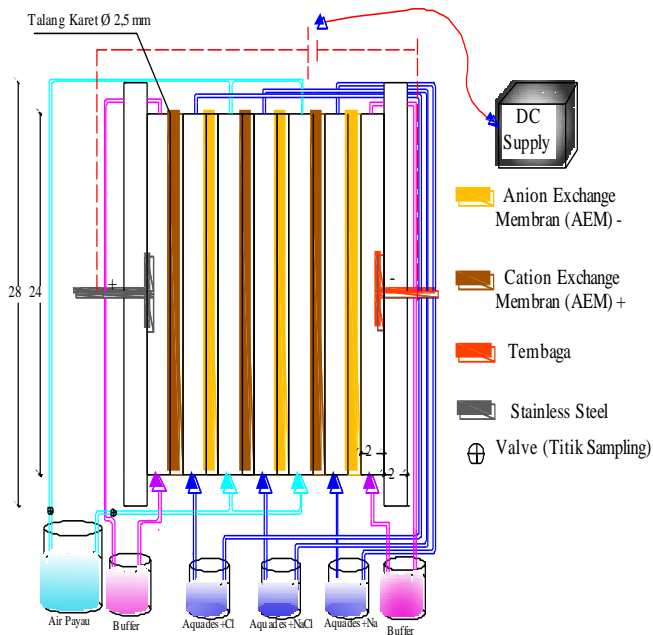
- a. Air payau dengan TDS 2000 ± 100 mg/L.
- b. Aquades sebagai *flushing* untuk resirkulasi ion-ion pada elektrolit yang terbentuk.
- c. *Buffer* fosfat (KH_2PO_4 0,01 M) pH 7 untuk menjaga pH dalam kompartemen elektroda untuk menghambat terjadi korosi.
- d. Bahan pencuci membran larutan H_2SO_4 0,1 N dan NaOH 0,1 N.

Alat dan bahan yang telah dipaparkan diatas kemudian disusun menjadi sebuah reaktor yang terdiri dari 7 kompartemen. Membran AEM dan CEM dipasang secara berseling dengan komposisi 3 lembar AEM dan 3 lembar CEM.



Gambar 3. 2 Penyusunan Kompartemen (Mirfada, 2014)

Pada masing-masing membran diapit dengan kasa untuk membantu membran agar tetap tegak dalam kompartemen saat diberi tekanan dari air yang dipompa. Kompartemen yang terbuat dari akrilik dipasang talang karet untuk merekatkan antar akrilik dan menghindari kebocoran. Pada bagian pengapit reaktor kompartemen terluar dipasang elektroda. Penyusunan kompartemen pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2. Hasil perakitan reaktor elektrodialisis dapat dilihat pada Gambar 3.3. Realisasi perakitan reaktor untuk penelitian inti dapat dilihat pada Lampiran C Dokumentasi Penelitian.



Gambar 3. 3 Reaktor Elektrodialisis 7 Kompartemen (Mirfada, 2014)

3.2.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga variasi tegangan (6, 9, 12 V) dan dua variasi pencucian membran (pencucian dengan CCA dan tanpa CCA). Variasi perlakuan yang diberikan pada membran dapat dilihat apabila percobaan dilakukan minimal dua kali untuk melihat pengaruh pencucian pada kemampuan membran dalam meremoval parameter uji. Sehingga pada penelitian ini masing-masing dilakukan dua kali *running* atau pengulangan dua kali untuk mengetahui kecenderungan (*trend*) kinerja membran. Berikut adalah variasi percobaan yang dilakukan:

Tabel 3. 1 Variasi Percobaan yang Dilakukan

No.	Tegangan (V)	Perlakuan Membran	Percobaan (kali)
1	6	Pencucian Dengan CCA	2
2	9	Pencucian Dengan CCA	2
3	12	Pencucian Dengan CCA	2
4	6	Pencucian Tanpa CCA	2
5	9	Pencucian Tanpa CCA	2
6	12	Pencucian Tanpa CCA	2
Total Percobaan			12

Berikut adalah beberapa hal yang harus dilakukan oleh Sigit dkk. (2007) sebelum melakukan penelitian inti untuk meminimalisir terjadinya *error*.

1. Melakukan uji kebocoran pada reaktor untuk mengetahui titik kebocoran dan mengambil tindakan untuk meminimasi resiko kebocoran.
 2. Melakukan uji fungsi untuk peralatan kelistrikan seperti pompa dan adaptor sehingga dapat diambil tindakan perbaikan apabila kondisi rusak.
 3. Masing-masing larutan dalam kompartemen disirkulasikan selama 15 menit untuk menghilangkan gelembung gas yang nampak sehingga pengaruh gelembung pada konduktivitas membran dapat dihilangkan (Yan *et al.*, 2015).
 4. Melakukan *trial dan error* sebelum menjalankan variasi untuk data sebenarnya untuk mengetahui kekurangan ataupun kesalahan yang mungkin terjadi.
- A. Tahap penelitian inti sebagai berikut:
1. Mengisi *feed tank* dengan air umpan (TDS 2000 ± 100 mg/L) sebanyak 10 L, 2 bak penampung *buffer* dengan larutan *buffer* fosfat (KH_2PO_4 0,01 N) masing 2 L, dan 3 bak berisi aquades masing-masing 2 L seperti pada Gambar 3.3.
 2. Mengisi reaktor dengan air umpan, aquades, dan larutan *buffer* sesuai posisi kompartemennya hingga penuh pada Gambar 3.3.
 3. Menyalakan adaptor dengan tegangan sesuai variasi yaitu 6, 9, dan 12 V. Arus listrik dialirkan melalui kutub negatif (katoda) dan kutub positif (anoda).

4. Mengambil sampel sesuai waktu sampling (t_0 = jam ke-0, t_1 = jam ke-12, t_2 = jam ke-24, t_3 = jam ke-36, t_4 = jam ke-48, t_5 = jam ke-60, dan t_6 = jam ke-72) masing-masing 20 mL.
 5. Melakukan uji pada parameter TDS, salinitas, konsentrasi Cl^- , dan pH sesuai prosedur yang ada dalam Lampiran A Prosedur Analisis Laboratorium. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan baku mutu Permenkes No. 492 tahun 2010.
 6. Melakukan pencucian membran dengan bahan pencuci H_2SO_4 0,1 N dan NaOH 0,1 N untuk variasi pencucian dengan CCA.
- B. Metode pencucian membran elektrodialisis adalah:
1. Membongkar reaktor dan mengambil membran yang telah digunakan.
 2. Memberi tanda pada membran sesuai posisi dalam reaktor.
 3. Merendam membran dalam larutan H_2SO_4 0,1 N atau larutan NaOH 0,1 N dalam nampan terbuat dari *stainless steel* atau plastik berdiameter 30 cm selama waktu sesuai hasil penelitian pendahuluan untuk variasi pencucian dengan CCA.
 4. Membilas membran dengan aquades untuk menghilangkan kontaminan dan sisa bahan pencuci ± 15 menit.
 5. Setelah langkah 1 dan 2 selanjutnya membran direndam dalam aquades ± 2 L pada ember selama ± 15 menit untuk variasi pencucian tanpa CCA.
 6. Membran setelah dicuci dipasang lagi dalam reaktor sesuai posisi sebelum dibongkar.

3.2.7 Uji Parameter

Uji parameter pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pemulihan Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP- ITS. Sampel yang akan diuji diambil dari outlet 6 bak resirkulasi. Pengambilan sampel dilakukan pada t_0 = jam ke-0, t_1 = jam ke-12, t_2 = jam ke-24, t_3 = jam ke-36, t_4 = jam ke-48, t_5 = jam ke-60, dan t_6 = jam ke-72. Selama *running* 72 jam dilakukan sampling tujuh kali dengan total percobaan sebanyak 12 kali sehingga total sampel yang diambil 84 sampel. Prosedur

analisis parameter tersebut dapat dilihat pada Lampiran A Prosedur Analisis Laboratorium. Berikut adalah metode dalam menguji parameter diatas:

Tabel 3. 2 Metode Uji Paramater

No.	Parameter	Metode	Instrumen Utama	Sumber
1	TDS	Gravimetri	pH ion Lab tipe EC10	SK SNI M-03-1989-F
2	Salinitas	Salinometri	pH ion Lab tipe EC10	SK SNI M-03-1989-F
3	Konsentrasi Cl ⁻	Argentometri	Buret pyrex	Sawyer <i>et al.</i> , 2003
4	pH	Potensiometri	Ph meter	Sawyer <i>et al.</i> , 2003

3.2.8 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan dari hasil percobaan yang diperoleh pada setiap parameter. Parameter yang diuji adalah TDS, salinitas, konsentrasi Cl⁻, dan pH. Analisis dilakukan untuk menganalisis pengaruh pencucian membran dan menentukan tegangan optimum pada proses elektrodialisis dalam pengolahan air payau menjadi air tawar dilihat dari removal dari setiap parameter dan konsumsi energi. Berdasarkan hasil laboratorium yang didapatkan akan dihitung besar removal dari setiap parameter dengan Persamaan 2.1. Sementara kebutuhan energi selama proses elektrodialisis menggunakan Persamaan 2.4-2.7. Data yang didapatkan berasal dari 84 sampel jadi setiap parameter memiliki 84 data yang akan diolah dengan metode statistika ANOVA (*Analysis of Variance*). Metode ANOVA digunakan untuk mengetahui signifikansi pengaruh variabel bebas (tegangan dan pencucian membran) secara bersama-sama terhadap variabel terikat (removal parameter).

3.2.9 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan terhadap data hasil percobaan, selanjutnya dapat ditarik kesimpulan dan saran dari penelitian ini. Kesimpulan adalah fakta pengujian dari hasil analisis data dan pembahasan yang didukung dengan literatur-literatur. Selain itu kesimpulan juga merupakan jawaban

dari rumusan masalah dan pencapaian tujuan dari penelitian ini. Sedangkan saran merupakan rekomendasi yang diberikan untuk perbaikan bagi penelitian selanjutnya terkait dengan pengolahan elektrodialisis dalam mengolah air payau menjadi air minum.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini menyimpulkan beberapa hal, diantaranya:

1. Pencucian pada membran membuat kinerja membran mengalami penurunan karena akumulasi deposit pada membran. Penurunan kinerja pada 6 V pada pencucian membran dengan CCA yaitu TDS 10,91% sementara pencucian tanpa CCA yaitu TDS 3,89%. Sementara variasi 9 V pencucian dengan CCA mengalami penurunan sebesar 2,18% dan pencucian tanpa CCA meningkat sebesar 11,68%. Begitu juga dengan variasi 12 V mengalami penurunan setelah dicuci dengan CCA yaitu 1,93% dan tanpa CCA yaitu 11,98%. Berdasarkan hasil uji signifikansi dengan ANOVA disimpulkan bahwa pada penelitian ini penurunan yang terjadi setelah membran dicuci tidak memberikan pengaruh pada removal TDS, salinitas, dan Cl^- .
2. Tegangan optimum didapatkan menurut efisiensi desalinasi yaitu 9 V. Tegangan 9 V pada variasi pencucian dengan dan tanpa CCA memiliki efisien desalinasi terbesar yaitu nilai $kWh/m^3/\%$ removal yang kecil. Variasi pencucian dengan CCA memiliki nilai $kWh/m^3/\%$ removal sebesar 7,23 sedangkan variasi pencucian tanpa CCA sebesar 4,45.

5.2 Saran

Penelitian ini dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penghambat desalinasi dari air tanah payau.
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pencucian dengan metode *flushing*.
3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan perendaman lebih dari 2 jam atau menggunakan variasi lamanya perendaman membran.
4. Penggunaan elektroda dan membran harus dengan kondisi yang sama setiap variasi.

5. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengukuran pada elektroda setiap selesai *running*.
6. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan uji parameter TDS atau salinitas pada bahan pencuci membran dan kompartemen aquades.
7. Prosedur *pre conditioning* membran harus ditambahkan dengan perendaman dengan aquades.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikary, S. K., Narayanan, P. K., Thampy, S. K., Dave, N. J., Chauhan, D. K., dan Indusekhar, V. K. 1991. *Desalination of Brackish Water of Higher Salinity by Electrodialysis*. Desalination 84, 189-200.
- Anonim. 2013. *Subjek: Kimia/Materi: Elektrokimia*. <https://id.wikibooks.org/wiki/Subjek:Kimia/Materi:Elektrokimia> diakses pada 30 Mei 2015 pukul 1.49 WIB.
- Anderson, M. A., Cudero, A. L., dan Palma, J. 2010. *Capacitive Deionization as an Electrochemical Means of Saving Energy and Delivering Clean Water. Comparison to Present Desalination Practices: Will It Compete?*. Electrochimica Acta 55, 3845-3856.
- Anglada, A. Urtiaga, A. dan Ortiz, I. 2009. *Contribution of Electrochemical Oxidation to Wastewater Treatment: Fundamental and Review of Application*. Emerging Technologies.
- APHA. 1992. *Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater 18th Edition*. American Public Health Association. Washington, DC.
- APHA. 2005. *Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater 21th Edition*. American Public Health Association. Washington, DC.
- Apriani, R. S dan Wesen P. 2010. *Penurunan Salinitas Air Payau dengan Menggunakan Resin Penukar Ion*. Surabaya: Progdil Teknik Lingkungan, FTSP-UPN "Veteran" Jawa Timur.
- AWWA. 1995. *Electrodialysis and Electrodialysis Reversal*. American Water Works Association. Denver, CO.
- Badan Standar Nasional. 1998. SK SNI M-03-1989-F *Tentang Metode Pengujian Kualitas Fisik Air*.
- Banasiak, L. J., Kruttschnitt, T. W., dan Schäfer, A. I. 2007. *Desalination Using Electrodialysis as a Function of Voltage and Salt Concentration*. Desalination 205, 1-3, 38-46.
- Banasiak, L. J. dan Schäfer, A. I. 2009. *Removal of Boron, Fluoride, and, Nitrate by Electrodialysis in The Presence of Organic Matter*. Journal of Membrane Science 334, 1, 101-109.

- Banasiak, L. J. 2010. *Removal of Inorganic and Trace Organic Contaminants by Electrodialysis*. United Kingdom: School of Engineering.
- Bruggen, V. D. B. 2015. *Advances in Electrodialysis for Water Treatment*. New York: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-121-4.00006-X>.
- Bukhovets, A. Eliseeva, T., dan Oren, Y. 2010. *Fouling of Anion-Exchange Membranes in Elektrodialysis of Aromatic Amino Acid Solution*. Journal of Membrane Science 364, 339-343.
- Casademont, C., Farias, M. A., Pourcelly, G., dan Bazinet, L. 2008. *Impact of Electrodialytic Parameters on Cation Migration Kinetics and Fouling Nature of Ion-exchange Membranes During Treatment of Solutions With Different Magnesium/Calcium Ratios*. Journal of Membrane Science 325, 570-579.
- Devesa, R., Garcia, V., dan Matia, L. 2010. *Water Flavour Improvement by Membrane (RO and EDR) Treatment*. Desalination, 113-117.
- Dewi, L. K, Azfah R. A., dan Soedjono E. S. 2011. *Rancang Bangun Alat Pemurni Air Payau Sederhana dengan Membran Reverse Osmosis Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Minum Masyarakat Miskin Daerah Pesisir*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Elazhar, F., Elazhar, M., Hafsi, M., Taky, M., dan El Midaoui, A. 2014. *Performances of Electrodialysis Process in Desalination of Brackish Waters at Various Salinities and Voltage*. International Journal of Advanced Chemistry, 2, 2, 49-52.
- Farid, M. R. R, Soehartono, T., dan Suprpto. 2012. *Perancangan dan Pembuatan Alat Pemroduksi Gas Brown dengan Metode Elektrolisis Berskala Laboratorium*. Surabaya: Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITS. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, 1-4.
- Galama, A. H., Saakes, M., Bruning, H., Rijnaarts, H. H. M., dan Post, J. W. 2014. *Seawater Predesalination With Electrodialysis*. Desalination 342, 61-69.

- Guo, H., Xiao, L., Yu, S., Yang, H., Hu, J., Liu, G., dan Tang, Y. 2014. *Anylisis of Anion Exchange Membrane Fouling Mechanism Caused by Anion Polyacrylamide in Electrodialysis*. Journal of Desalination 346, 46-53.
- Grebenyuk, V. D., Chebotavera, R. D., Peters, S. dan Linkov, V. 1998. *Surface Modification of Anion-exchange Electrodialysis Membranes to Enhance Antifouling Characteristic*. Desalination 115, 3, 313-329.
- Hapsari, N. 2007. *Proses Pemisahan Ion K (Kalium) dan Ca (Calsium) dalam Bittern dengan Membran Elektrodialisis*. Surabaya: Jurusan Teknik Kimia-UPN "Veteran" Jawa Timur. Jurnal Rekayasa Perencanaan 4, 1.
- Health Canada Environmental and Workplace Health. 1991. *Total Dissolved Solids (TDS)*. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/tds-mdt/index-eng.php> diakses pada 7 Januari 2015 pukul 9.57 WIB.
- Jiang, C., Wang, Y., Zhang, Z., dan Xu, T. 2014. *Electrodialysis of Concentrated Brine from RO Plant to Produce Coarse Salt and Fresh Water*. Journal of Membrane Science 450, 323-330.
- Jumiati, Sampurno, J., dan Faryuni, I. F. 2013. *Pengaruh Konsentrasi Larutan Katalis dan Bentuk Elektroda dalam Proses Elektrodialisis untuk Menghasilkan Gas Brown*. Pontianak: Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura, POSITRON, Vol III, No. 1 (2013), Hal 06-11.
- Khawaji, A. D, Kutubhanah, I. K, dan Wie, J. M. 2008. *Advances in Seawater Desalination Technologies*. Desalination 221, 47-69.
- Korngold, E., De Körösy, F. Rahav, R. Dan Taboch, M. F. 1970. *Fouling of Anionselective Membranes in Electrodialysis*. Desalination 8, 195-220.
- Lindstrand, V., Sundström, G., dan Jönson, A. S. 2000. *Fouling of Electrodialysis Membranes by Organic Substances*. Desalination 128, 91.
- Materi78.co.nr. *Kelarutan*. diakses pada 23 Maret 2015 pukul 10.59.
- Menteri Kesehatan RI. 2010. Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/Menkes/Per/VI/2010. *Persyaratan Kualitas Air Minum*.

- Mirfada, Z. 2014. *Pengaruh Tegangan dan Jumlah Kompartemen pada Desalinasi Air Payau Menggunakan Elektrodialisis*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Mulyati, S., Takagi, R., Fujii, A., Ohmukai, T., Maruyama, T., dan Matsuyama, H. 2012. *Improvement of The Antifouling Potential of an Anion Exchange Membrane by Surface Modification With a Polyelectrolyte for an Electrodialysis Process*. Journal of Membrane Science 417-418, 137-143.
- Pemerintahan Kota Surabaya. 2011. *Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kota Surabaya 2011*. www.lh.surabaya.go.id diakses pada 4 Desember 2014 pukul 15.12 WWIB.
- Ronan, K. M., Weiner, A. M., Sun, L., Chambers, C. G., Zubair, S. M. 2014. *On The Cost of Electrodialysis for The Desalination of High Salinity Feeds*. Applied Energy 136, 649-661.
- Sagle, A. dan Freeman, B. 1970. *Fundamental of Membranes for Water Treatment*. Amerika: American Chemical Society.
- Sadrzadeh, M., Kaviani, A., dan Mohammadi, T. 2007. *Mathematically Modeling of Desalination by Electrodialysis*. Desalination 206, 538-546.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., dan Parkin, G. F. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science 5th Edition*. America, New York: McGraw-Hill.
- ScienceLab.com. *Material Safety Data Sheet Sodium Chloride MSDS*. Diakses pada 3 April 2015 pukul 23.40.
- Sigit, Widodo, G., Langentani, R., Torowati, dan Yudhi, N. 2010. *Pengaruh Tegangan, Waktu, dan Keasaman pada Proses Elektrodialisis Larutan Uranil Nitrat*. Jurnal Teknologi Bahan Nuklir 6, 1-69.
- Siswanto, A. P. dan Aufa, A. D. 2010. *Optimization of Microfiltration Membrane Cleaning Process in Produced Water Treatment*. Semarang: Chemical Engineering Department, Diponegoro University.
- Strathmann, H. 2002. *Assessment of Electrodialysis Water Desalination Process Costs*. Germany: Institute of Chemical Engineering, University of Stuttgart.
- Strathmann, H. 2004. *Ion-Exchange Membrane Separation Processes*. New York: Elsevier.

- Strathmann, H. 2010. *Electrodialysis Amateur Technology With Multitude of New Applications*. Desalination 264, 268-288.
- Tijing, L. D., Woo. Y. C., Choi, J. S., Lee, S. Kim, S. H., dan Shon, H. K. 2015. *Fouling and Its Control in Membrane Distillation-A Review*. Journal of Membrane Science 475, 215-244.
- Ulfin, I, Krismurwani, I., Juwono, H., Wahyudi, A., dan Kurniawan, F. 2010. *Kimia Dasar*. Surabaya: ITS Press.
- Valero, F., Barcelo, A., dan Arbos, R. 2011. *Electrodialysis Technology. Theory and Applications*. Desalination, Trends and Technologies. Spain.
- Walpole, R. E. 1982. *Pengantar Statistika Edisi ke-3*. Jakarta: Gramedia.
- Wang, Q., Yang, P., dan Cong, W. 2011. *Cation-exchange Membrane Fouling and Cleaning in Bipolar Membrane Electrodialysis of Industrial Glutamate Production Wastewater*. Separation and Purification Technology 79, 103-113.
- Warsinger, D. M., Swaninathan, J. Burrieza, E. G., Arafat, H. A., dan Lienhard V, J. H. 2015. *Scaling and Fouling in Membrane Distillation for Desalination Applications : A Review*. Desalination 356, 294-313.
- Wenten, I. G dan Wiguna. 2000. *Teknologi Membran Industrial*. Bandung: ITB.
- Wibisono, M. S. 2004. *Pengantar Ilmu Kelautan*. PPPTMGB LEMIGAS.
- Widiasa, I. N. 2003. *Pengolahan Limbah Asam dengan Elektrodialisis: Studi Efektivitas Resin penukar ion Terhadap Karakteristik dan Kinerja Proses*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- World Trade Center San Diego. 2013. *Water Industry Report Desalination*. San Diego.
- Yamamura, H., Kimura, K. dan Watanabe, Y. 2014. *Seasonal Variation of Effective Chemical Solution for Cleaning of Ultrafiltration Membrane Treating a Surface Water*. Separation and Purification Technology 132, 110-114.
- Yan, H., Wu, C., dan Wu, Y. 2015. *Separation of Alumina Alkaline Solution by Electrodialysis: Membrane Stack Configuration*

- Optimization and Repeated Batch Experiments*. Separation and Purification Technology, 78-87.
- Yusuf, E., Rachmanto, T. A., dan Laksmono, R. 2009. *Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih dengan Menggunakan Membran Reverse Osmosis*. Surabaya: Prodi Teknik Lingkungan, FTSP-UPN "Veteran" Jawa Timur. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan 1, 1.
- Zourmand, Z., Faridirad, F., Kasiri, N., dan Mohammadi, T. 2015. *Mass Transfer Modelling of Desalination Through an Electrodialysis Cell*. Journal of Desalination 359, 41-51.

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

I. Prosedur Analisis *Total Dissolved Solid* (TDS)

a. Peralatan

1. pH ion Lab tipe EC 10
2. *Beaker Glass* 100 mL

b. Bahan

1. Aquades

c. Prosedur kerja analisis

1. Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor.
2. Membersihkan alat ion-pH lab dengan aquades dan diusap menggunakan *tissue*.
3. Mencelupkan alat ion-pH lab yang telah di *setting* untuk mengukur TDS.

II. Prosedur Analisis Salinitas

a. Peralatan

1. pH ion Lab tipe EC 10
2. *Beaker Glass* 100 mL

b. Bahan

1. Aquades

c. Prosedur kerja analisis

1. Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor.
2. Membersihkan alat ion-pH lab dengan aquades dan di usap menggunakan *tissue*.
3. Mencelupkan alat ion-pH lab yang telah di *setting* untuk mengukur salinitas.

III. Prosedur Analisis Konsentrasi Cl^-

a. Peralatan

1. Spatula
2. *Beaker Glass* 100 mL
3. Labu Ukur 1000 mL
4. Pipet Tetes

5. Pipet Ukur 25 mL
6. Propipet

b. Bahan

1. Aquades
2. Larutan K_2CrO_4
3. Larutan HNO_3
4. Larutan NaCl
5. Larutan $AgNO_3$
6. Bubuk MgO

c. Prosedur kerja analisis

Pembuatan Larutan $AgNO_3$ 1/35,45 N

- Larutkan 4,7945 gr $AgNO_3$ dalam 1 L aquades.

Standarisasi

- Larutkan 1,6485 gr NaCl pro analis dengan aquades dalam labu ukur sampai tanda batas.
- Pipet 10 mL larutan NaCl + 3 tetes HNO_3 pekat+ 3 tetes K_2CrO_4 10% + MgO.
- Titrasasi dengan larutan $AgNO_3$ 1/35,45 N dari warna kuning sampai warna merah bata, dimana faktor $AgNO_3 = 10 / mL$ titran.

Pembuatan Larutan K_2CrO_4 10%

- Larutkan 10 gr K_2CrO_4 dalam 100 mL aquades.

Prosedur Analisis Cl^-

- Ambil 25 mL sampel ke dalam erlenmayer.
- Ditambahkan 0,5 mL K_2CrO_4 10%.
- Ditambahkan 1 spatula MgO.
- Titrasasi dengan $AgNO_3$ hingga warna menjadi merah bata.
- Menghitung mg/L klorida dengan rumus berikut.

$$Cl \text{ (mg/L)} = (1000/25) \times mL \text{ titrasi} \times f \times 35,45$$

Dimana:

f= faktor $AgNO_3$

IV. Prosedur Analisis pH

a. Peralatan

1. pH meter
2. *Beaker Glass* 100 mL

b. Bahan

1. Aquades

c. Prosedur kerja analisis

1. Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor.
2. Membersihkan ujung alat pH meter dengan aquades dan diusap menggunakan tissue.
3. Mencelupkan alat ke dalam sampel.

V. Pembuatan larutan NaCl 5%

a. Peralatan

1. Neraca analitik
2. *Beaker Glass* 1000 mL
3. Spatula

b. Bahan

1. Aquades
2. Bubuk NaCl

c. Prosedur kerja analisis

1. Menimbang bubuk NaCl sebanyak 50 gr untuk 1000 mL NaCl 5%.
2. Melarutkannya dalam 1000 mL aquades.
3. Mengaduknya hingga homogen.

VI. Pembuatan larutan H_2SO_4 0,1 N

a. Peralatan

1. Pipet Volumetrik
2. Propipet
3. *Beaker Glass* 1000 mL

b. Bahan

1. Aquades
2. H_2SO_4 35 N

c. Prosedur kerja analisis

1. Mengambil H_2SO_4 35 N sebanyak 2,8 mL.

2. Melarutkannya dalam 1000 mL aquades dalam *beaker glass* secara homogen.

LAMPIRAN B

DATA HASIL ANALISIS DAN PERHITUNGAN

1. Pencucian Membran dengan *Chemical Cleaning Agents* (CCA)

A. Pengaruh Pencucian dengan Chemical Cleaning Agents (CCA) Variasi Tegangan 6 V

Tabel 1 Pencucian dengan CCA Parameter TDS

No	Waktu Operasi (Jam)	<i>Running 1</i>		<i>Running 2</i>	
		TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif	TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	1960	0,00	2210	0,00
2	12	1910	2,55	2180	1,36
3	24	1910	2,55	2180	1,36
4	36	1790	8,67	2100	4,98
5	48	1780	9,18	2090	5,43
6	60	1610	17,86	2040	7,69
7	72	1560	20,41	2000	9,50

Tabel 2 Pencucian dengan CCA Parameter Salinitas

No	Waktu Operasi (Jam)	<i>Running 1</i>		<i>Running 2</i>	
		Salin (‰)	% Removal Kumulatif	Salin (‰)	% Removal Kumulatif
1	0	2,04	0,00	2,31	0,00
2	12	1,90	6,86	2,28	1,30
3	24	1,90	6,86	2,28	1,30
4	36	1,85	9,31	2,19	5,19
5	48	1,84	9,80	2,17	6,06
6	60	1,66	18,63	2,18	5,63
7	72	1,60	21,57	2,13	7,79

Tabel 3 Pencucian dengan CCA Parameter Cl^-

No	Waktu Operasi (Jam)	Running 1		Running 2	
		Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif	Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	1274,61	0,00	1474,54	0,00
2	12	1224,62	3,92	1374,57	6,78
3	24	1249,61	1,96	1399,57	5,08
4	36	1199,63	5,88	1449,55	1,69
5	48	1199,63	5,88	1299,60	11,86
6	60	1099,66	13,73	1524,53	-3,39
7	72	1099,66	13,73	1399,57	5,08

Tabel 4 Pencucian dengan CCA Parameter pH Kompartemen 6, 2, Dan Air Baku

No	Waktu Operasi (Jam)	pH Running 1			pH Running 2		
		Komp. 6	Komp. 2	Air Baku	Komp. 6	Komp. 2	Air Baku
1	0	6,94	6,65	6,81	6,66	6,08	6,70
2	12	6,68	6,65	7,01	6,51	6,34	5,73
3	24	6,90	6,63	7,11	6,81	5,30	5,81
4	36	6,90	6,62	6,80	7,01	4,12	6,23
5	48	7,38	2,58	6,69	7,10	2,87	5,98
6	60	7,46	2,28	7,05	7,00	3,03	6,15
7	72	7,56	2,20	7,16	7,11	2,38	5,33

B. Pengaruh Pencucian dengan Chemical Cleaning Agents (CCA) Variasi Tegangan 9 V

Tabel 5 Pencucian dengan CCA Parameter TDS

No	Waktu Operasi (Jam)	Running 1		Running 2	
		TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif	TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	2000	0,00	1930	0,00
2	12	1960	2,00	1900	1,55
3	24	1810	9,50	1880	2,59
4	36	1640	18,00	1750	9,33
5	48	1580	21,00	1690	12,44
6	60	1520	24,00	1560	19,17
7	72	1490	25,50	1480	23,32

Tabel 6 Pencucian dengan CCA Parameter Salinitas

No	Waktu Operasi (Jam)	Running 1		Running 2	
		Salin (‰)	% Removal Kumulatif	Salin (‰)	% Removal Kumulatif
1	0	2,07	0,00	2,00	0,00
2	12	2,04	1,45	1,97	1,50
3	24	1,92	7,25	1,95	2,50
4	36	1,69	18,36	1,81	9,50
5	48	1,63	21,26	1,74	13,00
6	60	1,56	24,64	1,60	20,00
7	72	1,52	26,57	1,52	24,00

Tabel 7 Pencucian dengan CCA Parameter Cl⁻

No	Waktu Operasi (Jam)	Running 1		Running 2	
		Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif	Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	1449,55	0,00	1199,63	0,00
2	12	1249,61	13,79	1224,62	-2,08
3	24	1149,64	20,68	1199,63	0,00
4	36	1124,65	22,41	1149,64	4,17
5	48	1049,68	27,58	1174,64	2,08
6	60	999,69	31,03	1049,68	12,50
7	72	724,78	50,00	1049,68	12,50

Tabel 8 Pencucian dengan CCA Parameter pH Kompartemen 6, 2, Dan Air Baku

No	Waktu Operasi (Jam)	pH Running 1			pH Running 2		
		Komp. 6	Komp. 2	Air Baku	Komp. 6	Komp. 2	Air Baku
1	0	6,83	6,48	7,04	7,24	6,77	6,74
2	12	6,84	6,78	6,91	6,66	6,32	6,75
3	24	9,52	2,09	7,61	6,94	6,09	6,67
4	36	8,20	2,15	7,26	7,07	4,02	6,42
5	48	7,88	2,45	6,91	7,79	1,96	6,27
6	60	7,86	2,12	7,04	8,53	1,83	6,08
7	72	8,33	1,97	7,60	8,50	1,74	7,05

C. Pengaruh Pencucian dengan Chemical Cleaning Agents (CCA) Variasi Tegangan 12 V

Tabel 9 Pencucian dengan CCA Parameter TDS

No	Waktu Operasi (Jam)	<i>Running 1</i>		<i>Running 2</i>	
		TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif	TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	2180	0,00	2190	0,00
2	12	2130	2,29	2150	1,83
3	24	1930	11,47	2040	6,85
4	36	1810	16,97	1960	10,50
5	48	1760	19,27	1820	16,89
6	60	1700	22,02	1770	19,18
7	72	1690	22,48	1740	20,55

Tabel 10 Pencucian dengan CCA Parameter Salinitas

No	Waktu Operasi (Jam)	<i>Running 1</i>		<i>Running 2</i>	
		Salin (‰)	% Removal Kumulatif	Salin (‰)	% Removal Kumulatif
1	0	2,26	0,00	2,28	0,00
2	12	2,22	1,77	2,23	2,19
3	24	2,00	11,50	2,12	7,02
4	36	1,87	17,26	2,03	10,96
5	48	1,82	19,47	1,89	17,11
6	60	1,76	22,12	1,82	20,18
7	72	1,74	23,01	1,79	21,49

Tabel 11 Pencucian dengan CCA Parameter Cl^-

No	Waktu Operasi (Jam)	Running 1		Running 2	
		Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif	Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	1424,56	0,00	1349,58	0,00
2	12	1399,57	1,75	1374,57	-1,90
3	24	1224,62	14,04	1249,61	7,40
4	36	1174,64	17,54	1349,58	0,00
5	48	1099,66	22,81	1099,66	18,50
6	60	1274,61	10,53	1099,66	18,50
7	72	1099,66	22,81	999,69	25,90

Tabel 12 Pencucian dengan CCA Parameter Ph Kompartemen 6, 2, dan Air Baku

No	Waktu Operasi (Jam)	Running 1			Running 2		
		Komp. 6	Komp. 2	Air Baku	Komp. 6	Komp. 2	Air Baku
1	0	6,84	6,09	6,50	6,84	6,09	6,50
2	12	7,09	6,60	6,33	6,79	5,23	6,75
3	24	10,73	1,86	6,60	7,03	2,75	6,61
4	36	10,12	1,69	6,82	7,55	2,26	6,43
5	48	10,44	1,53	7,80	9,60	1,66	6,31
6	60	10,25	1,47	7,07	9,88	1,60	4,61
7	72	10,40	2,21	7,03	10,17	1,47	5,44

Tabel 13 Pengaruh Pencucian dengan CCA, Hambatan pada Variasi Tegangan

T (jam)	6 V, Running 1	6 V, Running 2	9 V, Running 1	9 V, Running 2	12 V, Running 1	12 V, Running 2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	1,33	0,95	1,05	1,38	2,40	2,00
24	0,81	1,67	1,22	1,88	1,88	2,40
36	1,03	1,43	1,20	2,57	1,82	2,00
48	1,36	1,25	1,10	2,65	1,85	1,56
60	2,86	0,81	1,08	2,81	1,74	1,74
72	3,53	0,98	1,05	3,46	1,71	1,85

D. Kebutuhan Energi Pencucian Membran dengan CCA

Tabel 14 Kebutuhan Energi Pencucian dengan CCA Tegangan 6 V

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		% TDS	kWh/m ³	% TDS	kWh/m ³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12	2,55	32,40	1,36	45,36
3	24	2,55	106,56	1,36	51,84
4	36	8,67	125,28	4,98	90,72
5	48	9,18	126,72	5,43	138,24
6	60	17,86	75,60	7,69	266,40
7	72	20,41	73,44	9,50	263,52

Tabel 15 Kebutuhan Energi Pencucian dengan CCA Tegangan 9 V

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		% TDS	kWh/m ³	% TDS	kWh/m ³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12	2,00	92,88	1,55	70,20
3	24	9,50	159,84	2,59	103,68
4	36	18,00	243,00	9,33	113,40
5	48	21,00	354,24	12,44	146,88
6	60	24,00	448,20	19,17	172,80
7	72	25,50	622,08	23,32	168,48

Tabel 16 Kebutuhan Energi Pencucian dengan CCA Tegangan 12 V

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		% TDS	kWh/m ³	% TDS	kWh/m ³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12	2,29	72,00	1,83	86,40
3	24	11,47	184,32	6,85	144,00
4	36	16,97	285,12	10,50	259,20
5	48	19,27	374,40	16,89	443,52
6	60	22,02	496,80	19,18	496,80
7	72	22,48	604,80	20,55	561,60

Tabel 17 Efisiensi Desalinasi Pencucian Membran dengan CCA dan Tegangan

No	Jam ke-	6 Volt		9 Volt		12 Volt	
		Running 1 (kWh/m ³ / % Removal)	Running 2 (kWh/m ³ / % Removal)	Running 1 (kWh/m ³ / % Removal)	Running 2 (kWh/m ³ / % Removal)	Running 1 (kWh/m ³ / % Removal)	Running 2 (kWh/m ³ / % Removal)
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12	12,70	33,42	46,44	45,16	31,39	47,30
3	24	41,77	38,19	16,83	40,02	16,07	21,02
4	36	14,44	18,23	13,50	12,16	16,80	24,68
5	48	13,80	25,46	16,87	11,81	19,43	26,25
6	60	4,23	34,63	18,68	9,01	22,56	25,90
7	72	3,60	27,73	24,40	7,23	26,91	27,33

2. Pengaruh Pencucian Tanpa Chemical Cleaning Agents (CCA)

a. Pengaruh Pencucian Tanpa CCA Variasi Tegangan 6 V

Tabel 18 Pencucian Tanpa CCA Parameter TDS

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif	TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	2240	0,00	2200	0,00
2	12	2230	0,45	2170	1,36

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif	TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif
3	24	2210	1,34	2160	1,82
4	36	2160	3,57	2110	4,09
5	48	2060	8,04	2050	6,82
6	60	2060	8,04	2050	6,82
7	72	1990	11,16	2040	7,27

Tabel 19 Pencucian Tanpa CCA Parameter Salinitas

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		Salin (‰)	% Removal Kumulatif	Salin (‰)	% Removal Kumulatif
1	0	2,33	0,00	2,29	0,00
2	12	2,33	0,00	2,26	1,31
3	24	2,30	1,29	2,24	2,18
4	36	2,25	3,43	2,19	4,37
5	48	2,13	8,58	2,12	7,42
6	60	2,13	8,58	2,12	7,42
7	72	2,07	11,16	2,12	7,42

Tabel 20 Pencucian Tanpa CCA Parameter Cl⁻

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif	Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	1499,54	0,00	1174,64	0,00
2	12	1499,54	0,00	1149,64	2,13
3	24	1449,55	3,33	1274,60	-8,51
4	36	1549,52	-3,33	1274,60	-8,51

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif	Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif
5	48	1249,61	16,67	1199,63	-2,13
6	60	1224,62	18,33	1049,67	10,64
7	72	1199,63	20,00	1024,68	12,77

Tabel 21 Pencucian Tanpa CCA Parameter pH Kompartemen 6, 2, dan Air Baku

No	Waktu (Jam)	pH Running 1			Running 2		
		Komp. 6	Komp. 2	Air Baku	Komp. 6	Komp. 2	Air Baku
1	0	6,66	6,52	6,62	6,84	6,09	6,50
2	12	6,80	6,76	7,01	6,79	5,23	6,75
3	24	7,21	7,04	6,78	7,58	7,12	6,88
4	36	7,21	3,38	7,07	7,38	4,68	6,92
5	48	7,25	3,26	6,60	7,59	2,86	6,99
6	60	7,56	2,55	6,95	7,72	2,37	6,88
7	72	7,58	2,39	6,91	7,77	2,12	6,53

Tabel 22 Kebutuhan Energi Pencucian Tanpa CCA Tegangan 6 V

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		% TDS	kWh/m ³	% TDS	kWh/m ³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12	0,45	27,96	1,36	8,42
3	24	1,34	109,90	1,82	134,09
4	36	3,57	243,22	4,09	205,67
5	48	8,04	354,93	6,82	239,95
6	60	8,04	365,04	6,82	240,55

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		% TDS	kWh/m ³	% TDS	kWh/m ³
7	72	11,16	600,65	7,27	318,82

b. Pengaruh Pencucian Tanpa CCA Variasi Tegangan 9 V

Tabel 23 Pencucian Tanpa CCA Parameter TDS

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif	TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	2140	0,00	2100	0,00
2	12	2120	0,93	2060	1,90
3	24	2050	4,21	1990	5,24
4	36	1930	9,81	1880	10,48
5	48	1910	10,75	1840	12,38
6	60	1900	11,21	1710	18,57
7	72	1860	13,08	1580	24,76

Tabel 24Pencucian Tanpa CCA Parameter Salinitas

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		Salin (‰)	% Removal Kumulatif	Salin (‰)	% Removal Kumulatif
1	0	2,23	0,00	2,18	0,00
2	12	2,21	0,90	2,14	1,83
3	24	2,13	4,48	2,07	5,05
4	36	2,00	10,31	1,94	11,01
5	48	1,98	11,21	1,90	12,84
6	60	1,96	12,11	1,76	19,27
7	72	1,92	13,90	1,62	25,69

Tabel 25 Pencucian Tanpa CCA Parameter Konsentrasi Cl⁻

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif	Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	1124,65	0,00	974,70	0,00
2	12	1149,64	-2,22	899,72	7,69
3	24	1174,64	-4,44	974,70	0,00
4	36	1049,67	6,67	999,69	-2,56
5	48	1074,67	4,44	774,76	20,51
6	60	1049,67	6,67	649,80	33,33
7	72	1024,68	8,89	399,88	58,97

Tabel 26 Pencucian Tanpa CCA Parameter pH Kompartemen 6, 2, dan Air Baku

Waktu (Jam)	Running 1			Running 2		
	Komp. 6	Komp. 2	Air Baku	Komp. 6	Komp. 2	Air Baku
0	7,34	7,13	6,65	6,67	6,36	6,75
12	6,94	6,36	6,58	7,12	6,49	6,83
24	7,64	7,88	7,51	7,14	6,33	6,76
36	7,50	3,00	6,70	7,11	7,42	7,20
48	8,78	5,63	9,06	7,28	3,08	7,11
60	8,61	5,63	6,66	7,61	2,11	7,06
72	8,39	2,12	6,58	8,42	2,03	6,85

Tabel 27 Kebutuhan Energi Pencucian Tanpa CCA

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		% TDS	kWh/m ³	% TDS	kWh/m ³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12	0,93	81,00	1,90	69,12
3	24	4,21	187,92	5,24	112,32
4	36	9,81	249,48	10,48	97,20
5	48	10,75	289,44	12,38	90,72
6	60	11,21	340,20	18,57	156,60
7	72	13,08	336,96	24,76	110,16

c. Pengaruh Pencucian Tanpa CCA Variasi Tegangan 12 V

Tabel 28 Pencucian Tanpa CCA Parameter TDS

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif	TDS (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	1970	0,00	1950	0,00
2	12	1960	0,51	1940	0,51
3	24	1900	3,55	1940	0,51
4	36	1630	17,26	1830	6,15
5	48	1460	25,89	1780	8,72
6	60	1430	27,41	1630	16,41
7	72	1340	31,98	1560	20,00

Tabel 29 Pencucian Tanpa CCA Parameter Salinitas

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		Salin (‰)	% Removal Kumulatif	Salin (‰)	% Removal Kumulatif
1	0	2,04	0,00	2,02	0,00
2	12	2,04	0,00	2,01	0,50
3	24	1,96	3,92	2,01	0,50
4	36	1,68	17,65	1,89	6,44
5	48	1,49	26,96	1,84	8,91
6	60	1,46	28,43	1,68	16,83
7	72	1,37	32,84	1,61	20,30

Tabel 30 Pencucian Tanpa CCA Parameter Konsentrasi Cl⁻

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif	Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif
1	0	1074,67	0,00	974,70	0,00
2	12	949,71	11,63	949,71	2,56
3	24	774,76	27,91	874,73	10,26
4	36	824,74	23,26	974,70	0,00
5	48	774,76	27,91	974,70	0,00

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif	Cl- (mg/L)	% Removal Kumulatif
6	60	674,79	37,21	799,75	17,95
7	72	649,80	39,53	749,77	23,08

Tabel 31 Pencucian Tanpa CCA Parameter pH Kompartemen 6, 2, dan Air Baku

No	Waktu (Jam)	Running 1			Running 2		
		Komp. 6	Komp. 2	Air Baku	Komp. 6	Komp. 2	Air Baku
1	0	7,16	6,92	7,01	6,15	5,95	6,83
2	12	7,73	6,92	7,84	7,44	7,07	7,14
3	24	7,26	7,04	7,11	7,06	6,88	7,14
4	36	9,57	1,92	6,98	7,40	4,14	7,25
5	48	9,44	1,88	6,95	7,75	4,34	7,49
6	60	9,94	1,56	7,36	8,43	2,13	7,27
7	72	10,00	1,64	6,78	8,20	2,21	7,35

Tabel 32 Kebutuhan Energi Tanpa CCA dan Tegangan 12 V

No	Waktu (Jam)	Running 1		Running 2	
		% TDS	kWh/m ³	% TDS	kWh/m ³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12	0,51	44,64	0,51	11,52
3	24	3,55	92,16	0,51	20,16
4	36	17,26	116,64	6,15	25,92
5	48	25,89	138,24	8,72	28,80
6	60	27,41	108,00	16,41	28,80
7	72	31,98	51,84	20,00	34,56

Tabel 33 Efisiensi Desalinasi Pencucian Membran Tanpa CCA dan Tegangan

No	Jam ke-	6 Volt		9 Volt		12 Volt	
		Running 1 (kWh/ m ³ /% Removal)	Running 2 (kWh/ m ³ /% Removal)	Running 1 (kWh/ m ³ /% Removal)	Running 2 (kWh/ m ³ /% Removal)	Running 1 (kWh/ m ³ /% Removal)	Running 2 (kWh/ m ³ /% Removal)
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12	41,93	3,80	86,67	36,29	87,94	22,46
3	24	51,61	50,69	44,68	21,44	25,94	39,31
4	36	44,76	30,62	25,42	9,28	6,76	4,21
5	48	27,96	24,08	26,93	7,33	5,34	3,30
6	60	32,26	24,82	30,33	8,43	3,94	1,76
7	72	34,06	26,73	25,75	4,45	1,62	1,73

Keterangan:

Running 1 : membran kondisi baru

Running 2 : membran setelah pencucian

Komp. : kompartemen

3. Uji Statistika ANOVA

a. Parameter TDS

Anova: Two-Factor With Replication						
SUMMARY	Dengan CCA, R 1	Dengan CCA, R 2	Tanpa CCA, R 1	Tanpa CCA, R 2	Total	
6 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	61,2244898	30,31674208	32,58928571	28,18181818	152,312336	
Average	8,746355685	4,330963154	4,655612245	4,025974026	5,43972628	
Variance	62,07730906	12,68450297	19,45532677	9,051554506	26,7795906	
9 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	100	68,39378238	50	73,33333333	291,727116	
Average	14,28571429	9,77054034	7,142857143	10,47619048	10,4188256	
Variance	109,4880952	82,27769617	28,36596251	80,65003779	73,6092327	
12 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	94,49541284	75,79908676	106,5989848	52,30769231	329,201177	
Average	13,49934469	10,82844097	15,2284264	7,472527473	11,7571849	
Variance	85,06979932	69,20305288	188,6160427	65,47071162	99,6405959	
Total						
Count	21	21	21	21		
Sum	255,7199026	174,5096112	189,1882705	153,8228438		
Average	12,17713822	8,309981487	9,008965261	7,324897325		
Variance	83,27816821	57,75753563	92,32170817	53,84405952		
ANOVA						
Source of Variat	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	620,6005732	2	310,3002866	4,583403724	0,01337658	3,12391
Columns	277,365463	3	92,45515433	1,365642627	0,26017211	2,73181
Interaction	248,9683081	6	41,49471801	0,612912889	0,71922087	2,2274
Within	4874,460549	72	67,70084096			
Total	6021,394893	83				

b. Parameter Salinitas

Anova: Two-Factor With Replication						
SUMMARY	Dengan CCA, R 1	Dengan CCA, R 2	Tanpa CCA, R 1	Tanpa CCA, R 2	Total	
6 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	73,03921569	27,27272727	33,0472103	30,13100437	163,490158	
Average	10,43417367	3,896103896	4,721030043	4,304429195	5,8389342	
Variance	54,52344336	8,870398481	21,55132716	10,19740098	28,5304457	
9 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	99,51690821	70,5	52,91479821	75,68807339	298,61978	
Average	14,21670117	10,07142857	7,559256887	10,81258191	10,6649921	
Variance	123,601262	88,95238095	32,13608233	87,9455393	79,7871071	
12 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	95,13274336	78,94736842	109,8039216	53,46534653	337,34938	
Average	13,59039191	11,27819549	15,68627451	7,637906648	12,0481921	
Variance	89,71691112	74,23529584	203,046905	68,03721391	105,919286	
Total						
Count	21	21	21	21		
Sum	267,6888673	176,7200957	195,7659301	159,2844243		
Average	12,74708892	8,415242652	9,322187146	7,584972586		
Variance	83,22965892	62,59414563	99,69336657	57,26782638		
ANOVA						
Source of Variat	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	595,0836414	2	297,5418207	4,138204972	0,01989775	3,12391
Columns	323,7785269	3	107,9261756	1,501034831	0,22158023	2,73181
Interaction	283,7311457	6	47,28852428	0,657687736	0,68384013	2,2274
Within	5176,884963	72	71,90118004			
Total	6379,478277	83				





c. Parameter CI'





Anova: Two-Factor With Replication						
SUMMARY	Dengan CCA, R 1	Dengan CCA, R 2	Tanpa CCA, R 1	Tanpa CCA, R 2	Total	
6 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	45,09836381	27,1183682	55,00003334	6,382978723	133,599744	
Average	6,442623401	3,8740526	7,857147621	0,911854103	4,77141943	
Variance	29,1094043	24,62334835	100,6612513	70,70641747	57,2857629	
9 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	165,5173223	29,16620819	20	117,9487179	332,632248	
Average	23,64533175	4,16660117	2,857142857	16,84981685	11,8797232	
Variance	238,5202563	36,16895255	25,86713698	514,6989762	259,990593	
12 V						
Count	7	7	7	7	28	
Sum	89,47322608	68,5186969	167,4418605	53,84615385	379,279937	
Average	12,78188944	9,788385271	23,92026578	7,692307692	13,545712	
Variance	85,88650048	124,273404	195,9875351	92,04470743	151,307976	
Total						
Count	21	21	21	21		
Sum	300,0889121	124,8032733	242,4418938	178,1778505		
Average	14,2899482	5,943013014	11,54485209	8,484659548		
Variance	159,0371305	63,29780487	181,533989	248,0179015		
ANOVA						
Source of Variat	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	1216,055976	2	608,0279881	4,742352125	0,01162065	3,12391
Columns	830,0964125	3	276,6988042	2,158129539	0,10040572	2,73181
Interaction	2590,393199	6	431,7321998	3,367322155	0,00555077	2,2274
Within	9231,287343	72	128,2123242			
Total	13867,83293	83				

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI PENELITIAN

No.	Gambar		Keterangan
1			pH ion Lab untuk mengukur TDS dan salinitas
2			Sampel Keputih Balai RW 07, Kelurahan Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya Timur.
3			<i>Waterbath preconditioning</i> untuk membran dengan suhu tertentu

4		Adaptor max 2000 mA dan 12 V sebagai <i>power supply</i>
5		AVO meter atau multimeter <i>digital</i> untuk mengukur Arus, Tegangan, dan Hambatan dalam sistem elektrodialisis
6		Rangkaian sistem elektrodialisis dengan 7 kompartemen dari kiri berturut-turut : kompartemen buffer anoda, aquades pembilas Cl, air baku, aquades pembilas NaCl, air baku, aquades pembilas Na, buffer katoda
7		Kiri : membran CEM direndam dalam H_2SO_4 0,1 N Kanan : membran AEM direndam dalam NaOH 0,1 N

8		Larutan asam pencuci membran yang menjadi keruh setelah membran direndam di dalamnya.
9		Membran setelah operasi 72 jam mengalami <i>scaling</i>
10		Perendaman membran dalam H_2SO_4 0,1 N selama 2 jam
11		Gelembung pada kompartemen <i>stainless steel</i> merupakan O_2

12		Tembaga tereduksi, permukaan terkikis
13		Elektroda anoda teroksidasi sehingga mengalami peluruhan, larutan <i>buffer</i> kekuningan

LAMPIRAN D

PERATURAN MENTERI KESEHATAN



Lampiran
Peraturan Menteri Kesehatan
Nomor : 492/Menkes/Per/IV/2010
Tanggal : 19 April 2010

PERSYARATAN KUALITAS AIR MINUM

I. PARAMETER WAJIB

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit, (Sebagai NO ₂ ⁻)	mg/l	3
	6) Nitrat, (Sebagai NO ₃ ⁻)	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	°C	suhu udara ± 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Keadahan	mg/l	500
	4) Klorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
7)	Seng	mg/l	3
8)	Sulfat	mg/l	250
9)	Tembaga	mg/l	2
10)	Amonia	mg/l	1,5

II. PARAMETER TAMBAHAN

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
a.	KIMIAWI		
a.	Bahan Anorganik		
	Air Raksa	mg/l	0,001
	Antimon	mg/l	0,02
	Barium	mg/l	0,7
	Boron	mg/l	0,5
	Molibdenum	mg/l	0,07
	Nikel	mg/l	0,07
	Sodium	mg/l	200
	Timbal	mg/l	0,01
	Uranium	mg/l	0,015
b.	Bahan Organik		
	Zat Organik (KMnO ₄)	mg/l	10
	Deterjen	mg/l	0,05
	Chlorinated alkanes:		
	Carbon tetrachloride	mg/l	0,004
	Dichloromethane	mg/l	0,02
	1,2-Dichloroethane	mg/l	0,05
	Chlorinated ethenes:		
	1,2-Dichloroethene	mg/l	0,05
	Trichloroethene	mg/l	0,02
	Tetrachloroethene	mg/l	0,04
	Aromatic hydrocarbons:		
	Benzene	mg/l	0,01
	Toluene	mg/l	0,7
	Xylenes	mg/l	0,5
	Ethylbenzene	mg/l	0,3
	Styrene	mg/l	0,02
	Chlorinated benzenes:		
	1,2-Dichlorobenzene (1,2-DCB)	mg/l	1
	1,4-Dichlorobenzene (1,4-DCB)	mg/l	0,3
	Lain-lain		
	Di(2-ethylhexyl)phthalate	mg/l	0,008
	Acrylamide	mg/l	0,0005
	Epichlorohydrin	mg/l	0,0004
	Hexachlorocyclopentadiene	mg/l	0,0005



No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
	Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)	mg/l	0,6
	Nitritetriacetic acid (NTA)	mg/l	0,2
c.	Pestisida		
	Aschlar	mg/l	0,02
	Aldcarb	mg/l	0,01
	Aldrin dan dieldrin	mg/l	0,00003
	Atrazine	mg/l	0,002
	Carbofuran	mg/l	0,007
	Chlordane	mg/l	0,0002
	Chlorotoluron	mg/l	0,03
	DDT	mg/l	0,001
	1,2- Dibromo-3-chloropropane (DBCP)	mg/l	0,001
	2,4- Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)	mg/l	0,03
	1,2-Eichloropropane	mg/l	0,04
	Isoproturon	mg/l	0,009
	Lindane	mg/l	0,002
	MCPA	mg/l	0,002
	Methoxychlor	mg/l	0,02
	Metolachlor	mg/l	0,01
	Mofinate	mg/l	0,006
	Pendimethalin	mg/l	0,02
	Pentachlorophenol (PCP)	mg/l	0,009
	Permethrin	mg/l	0,3
	Simazine	mg/l	0,002
	Trifluralin	mg/l	0,02
	Chlorophenoxy herbicides selain 2,4-D dan MCPA		
	2,4-DB	mg/l	0,090
	Dichlorprop	mg/l	0,10
	Fenoprop	mg/l	0,009
	Mecoprop	mg/l	0,001
	2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid	mg/l	0,009
d.	Desinfektan dan Hasil Sampingannya		
	Desinfektan		
	Chlorine	mg/l	5
	Hasil sampingan		
	Bromate	mg/l	0,01
	Chlorate	mg/l	0,7
	Chlorite	mg/l	0,7
	Chlorophenols		
	2,4,6 - Trichlorophenol (2,4,6-TCP)	mg/l	0,2
	Bromoform	mg/l	0,1
	Dibromochloromethane (DBCM)	mg/l	0,1
	Bromodichloromethane (BDCM)	mg/l	0,06
	Chloroform	mg/l	0,3



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
	Chlorinated acetic acids		
	Dichloroacetic acid	mg/l	0,05
	Trichloroacetic acid	mg/l	0,02
	Chloral hydrate		
	Halogenated acetonitriles		
	Dichloroacetonitrile	mg/l	0,02
	Dibromoacetonitrile	mg/l	0,07
	Cyanogen chloride (sebagai CN)	mg/l	0,07
2.	RADIOAKTIFITAS		
	Gross alpha activity	Bq/l	0,1
	Gross beta activity	Bq/l	1

MENTERI KESEHATAN,

(td

dr. Endang Rahayu Sedyaningsih, MPH, Dr. PH

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Aprilya Elsandari lahir di Mojokerto, 3 April 1993. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya TK Al Khoiriyah Kabupaten Mojokerto, SDN Terusan III Kabupaten Mojokerto, SMPN 2 Kota Mojokerto, SMAN 1 Sooko Kabupaten Mojokerto dan melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS dan terdaftar dengan NRP 3311100008. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS sebagai Sekertaris Departemen Sosial Masyarakat pada periode 2013/2014 dan staff Lembaga Dakwah Jurusan Al-Kaun periode 2012/2013, serta menjadi asisten laboratorium Kimia Lingkungan II. Penulis pernah mengikuti pelatihan Understanding and Implementing Based on ISO 14001:2004 di tahun 2014. Selain itu, penulis juga aktif pada kegiatan kepanitiaan jurusan, fakultas maupun institut. Segala kritik dan saran yang membangun dapat dikirimkan melalui email aprilelsa008@gmail.com.